

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Kateřina Gecová

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Návrh jednotky senzorů prostředí
kompatibilní s KNX**
Design of Environmental Sensors Module Compatible
with KNX

2017

Bc. Kateřina Gecová

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Kateřina Gecová

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3901T009 Biomedicínské inženýrství

Téma:

Návrh jednotky senzorů prostředí kompatibilní s KNX
Design of Environmental Sensors Module Compatible with KNX

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou prostředí staveb a hygienických norem.
2. Seznámení se s problematikou měření prostředí v budovách.
3. Seznámení se s problematikou sběrnice systému KNX.
4. Návrh HW kombinovaného senzorového modulu pro měření následujících parametrů prostředí: teplota, vlhkost, CO, CO₂, prach, tlak.
5. Návrh HW komunikačního rozhraní umožňující i napájení ze sběrnice KNX.
6. Návrh HW procesorového modulu pro zpracování naměřených dat a umožňující implementaci 2-7 vrstvy protokolu KNX.
7. Implementace Peer to Peer komunikace nad sběrnicí KNX.
8. Návrh metody pro ověření parametrů použitých senzorů v navrženém řešení.
9. Experimentální ověření jednotlivých částí řešení.
10. Zhodnocení vlastností navrženého řešení pro měření základních parametrů prostředí.
11. Vyhodnocení metodického pokynu / návodu pro instalaci senzorů a zařízení.
12. Zhodnocení výsledků závěrečné práce.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] ZAJAC, Alan J. *Building environments: HVAC systems*. 1st ed. Milwaukee, WI: Johnson Controls, c1997. ISBN 0925669008.
- [2] MILLER, Rex a Mark R. MILLER. *Electricity and electronics for HVAC*. 1st ed. New York: McGraw-Hill. 2007. ISBN 0071496688.
- [3] MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HÜBNER. *Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-8024723679.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. David Vala**


Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



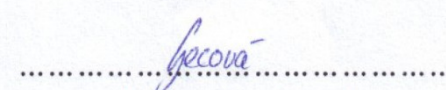


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně.

Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.



.....
Bc. Kateřina Gecová

Datum odevzdání diplomové práce: 28. 4. 2017

Poděkování

Chtěla bych tímto velmi poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Davidu Valovi za cenné rady, konzultace a trpělivost v průběhu procesu zpracování této práce. Dále děkuji za odbornou pomoc Ing. Martinu Mikolajkovi. Velké díky patří také mé rodině za jejich podporu při studiu.

Abstrakt

Jedním z hlavních cílů v oblasti moderních budov je kromě řízení prostředí také snaha o úspory energie. Z toho důvodu jsou zvyšovány požadavky na zamezení energetických ztrát, které se mohou projevovat například jako neefektivní využívání dostupných funkcí budovy či jako úniky tepla. Snižování tepelných ztrát v podobě dokonalejší těsnosti dveří a oken v budově však omezuje přirozené větrání, což vede k postupnému zhoršování kvality vnitřního prostředí. Tento stav má pak velmi významný vliv na lidské zdraví. V uzavřeném, nedostatečně větraném prostoru, se při pobytu osob zvyšuje koncentrace oxidu uhličitého, teplota a vlhkost vzduchu, což zatěžuje termoregulační systém člověka, zvyšuje únavu a způsobuje nesoustředěnost. Je proto nezbytné tyto parametry sledovat a následně řídit tak, aby byly zajištěny stálé, a pro člověka optimální, hodnoty. Cílem práce je návrh a realizace modulu senzorů, který bude schopen jednotlivé parametry měřit, a umožní tak následnou regulaci kvality vnitřního prostředí.

Klíčová slova

KNX, vnitřní prostředí budov, senzory prostředí

Abstract

One of the main goals in the field of modern buildings is, besides managing the environment, also the effort to save energy. For that reason the requirements are increased to avoid energy losses, such as inefficient use of available building functions or heat leakage. However, reducing heat losses in the form of improved sealing of doors and windows in the building limits natural ventilation, resulting in a gradual deterioration of the indoor environment. This condition has a very significant impact on human health. The movement of people in a closed and insufficiently ventilated area increases the concentration of carbon dioxide, it also increases temperature and humidity of the air, which puts a burden on the body's thermoregulation system, increases fatigue and causes inattention. It is necessary to monitor and control these parameters in such a way as to ensure stable and optimal values for humans. The aim of the thesis is to design and implement a sensor module, which will be able to measure the individual parameters, thus enabling subsequent quality control of indoor environment.

Keywords

KNX, indoor environment, environmental sensors

Obsah

1	ÚVOD	14
2	VLIV VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BUDOV NA ČLOVĚKA	15
2.1.1	<i>Teplota.....</i>	<i>15</i>
2.1.2	<i>Relativní vlhkost vzduchu</i>	<i>16</i>
2.1.3	<i>Tlak vzduchu.....</i>	<i>16</i>
2.1.4	<i>Oxid uhličitý CO₂.....</i>	<i>16</i>
2.1.5	<i>Oxid uhelnatý CO.....</i>	<i>17</i>
2.1.6	<i>Prach.....</i>	<i>18</i>
3	PROSTŘEDÍ STAVEB.....	20
3.1	HYGIENICKÉ PŘEDPISY PRO PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ	20
3.1.1	<i>Práce s rizikovými faktory mikroklimatických podmínek</i>	<i>21</i>
3.1.2	<i>Práce s chemickými faktory a prachem.....</i>	<i>23</i>
3.2	HYGIENICKÉ PŘEDPISY PRO POBYTOVÉ MÍSTNOSTI.....	24
3.3	HYGIENICKÉ PŘEDPISY PRO ŠKOLSKÉ PROSTŘEDÍ	24
4	SENZORY PROSTŘEDÍ.....	26
4.1	SENZOR PRO MĚŘENÍ TEPLoty A RELATIVNÍ VLHKOSTI	26
4.2	SENZOR PRO MĚŘENÍ TLAKU	26
4.3	SENZOR PRO MĚŘENÍ CO ₂	28
4.4	SENZOR PRO MĚŘENÍ CO	29
4.5	SENZOR PRO MĚŘENÍ PRAŠNOSTI	30
5	AUTOMATIZACE BUDOV	32
5.1	SBĚRNICOVÉ SYSTÉMY	32
5.2	TOPOLOGICKÉ USPOŘÁDÁNÍ KNX.....	33
5.3	ADRESOVÁNÍ ÚČASTNÍKŮ	34
5.4	PŘÍSTROJE NA SBĚRNICI.....	34
6	NÁVRH JEDNOTKY SENZORŮ	35
6.1	ROZHRANÍ I ² C	36
6.2	ULOŽENÍ JEDNOTKY	37
7	KOMUNIKACE S KNX	38
7.1	ISO/OSI MODEL	41
7.1.1	<i>Fyzická vrstva.....</i>	<i>41</i>
7.1.2	<i>Linková (spojová) vrstva</i>	<i>41</i>
7.1.3	<i>Síťová vrstva.....</i>	<i>41</i>
7.1.4	<i>Transportní vrstva</i>	<i>42</i>
7.1.5	<i>Relační vrstva.....</i>	<i>42</i>
7.1.6	<i>Prezentační vrstva</i>	<i>42</i>
7.1.7	<i>Aplikační vrstva.....</i>	<i>43</i>
7.1.8	<i>Aplikace modelu ISO/OSI na zařízení</i>	<i>43</i>
8	SENZOROVÝ MODUL.....	48
8.1	MIKROKONTROLÉR STELLARIS.....	50
8.2	VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ CCS	50
8.3	APLIKAČNÍ SOFTWARE.....	51

8.3.1	<i>Měření teploty a relativní vlhkosti</i>	53
8.3.2	<i>Měření teploty a tlaku</i>	53
8.3.3	<i>Měření oxidu uhličitého</i>	54
9	EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	56
9.1.1	<i>Měření parametrů prostředí</i>	56
9.1.2	<i>Vyhodnocení experimentu měření</i>	61
9.1.3	<i>Komunikace s KNX sběrnici</i>	61
10	METODICKÝ POKYN PRO INSTALACI ZAŘÍZENÍ	63
10.1	UMÍSTĚNÍ	63
10.2	KNX.....	63
10.3	AUTOMATICKÁ KALIBRACE CO ₂ SENZORU	66
11	ZHODNOCENÍ CELKOVÉHO ŘEŠENÍ	67
	ZÁVĚR	70
	POUŽITÁ LITERATURA	71
	SEZNAM PŘÍLOH	75

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka	Význam
CAS	ChemicalAbstractsService
CCS	CodeComposer Studio
CSB	Chip select
EIBA	EuropeanInstallation Bus Association
HVAC	Heating, ventilation and air conditioning
I ² C	Inter-IntegratedCircuit
ISO	International Standard Organization
LSB	Least Significant Bit
M	Energetický výdej
MKL	Mikroklima
MSB	Most Significant Bit
NPK-P	Nejvyšší přípustná koncentrace
NV	Nařízení vlády
OSI	Open Systém Interconnection
PEL	Přípustný expoziční limit
PROM	ProgrammableReadOnlyMemory
Rh	Relativní vlhkost vzduchu
SCL	SynchronousClock (hodinový signál)
SDA	Synchronous Data
SDI	Serial Data Input
SDO	Serial Data Output
SELV	Security Extra LowVoltage
SPI	Serialperipheral interface
TI	Texas Instruments
UART	Universal AsynchronousReceiver/Transmitter
t _a	Teplota vzduchu
t _g	Výsledná teplota kulového teploměru
t _o	Operativní teplota
t _{st}	Stereoteplota
v _a	Rychlost proudění vzduchu
ppm	Parts per milion

Seznam ilustrací

Obr. 1: Zapojení senzoru SHT21 [34]	26
Obr. 2: Čidlo tlaku s difundovanými tenzometry [21]	27
Obr. 3: I ² C zapojení senzoru BMP280 [35]	28
Obr. 4: Závislost koncentrace CO ₂ na Δ EMF [33].....	28
Obr. 5: Závislost koncentrace CO na výstupním proudu [30].....	29
Obr. 6: Zapojení senzoru TGS5042 [30]	30
Obr. 7: Závislost hustoty prachu na napětí [37]	30
Obr. 8: Zapojení senzoru GP2Y1010AU0F [37]	31
Obr. 9: Znázornění topologického uspořádání KNX [29].....	33
Obr. 10: Blokové schéma jednotky (vlastní)	35
Obr. 11: Schéma zapojení desky se senzory (vlastní)	36
Obr. 12: Návrh krabičky modulu (vlastní)	37
Obr. 13: Modul NCN512010GEVB [36]	38
Obr. 14: Analogový stavový diagram NCN5120 ISO/OSI standard [32].....	39
Obr. 15: Digitální stavový diagram NCN5120 [32]	40
Obr. 16: Schéma modulu čipu NCN5120 (vlastní)	40
Obr. 17: Znázornění funkce modulu z hlediska ISO/OSI [32].....	43
Obr. 18: Rámec bitu logické 0 [48]	45
Obr. 19: Náhradní schéma vysílače TP64 [48].....	46
Obr. 20: Test komunikace přes logický analyzátor (vlastní).....	46
Obr. 21: Test komunikace přes logický analyzátor (vlastní).....	47
Obr. 22: Stavový diagram komunikace s KNX (vlastní).....	48
Obr. 23: Komunikace prostřednictvím NCN5120 [32]	49
Obr. 24: Prostředí aplikace TI PinMux (vlastní)	51
Obr. 25: Průběh koncentrace CO ₂ v učebně (vlastní).....	56
Obr. 26: Průběh relativní vlhkosti vzduchu v učebně (vlastní)	57
Obr. 27: Průběh teploty vzduchu v učebně (vlastní)	57
Obr. 28: Průběh tlaku vzduchu v učebně před kompenzací (vlastní).....	58
Obr. 29: Průběh tlaku vzduchu v učebně po kompenzací (vlastní).....	59
Obr. 30: Průběh koncentrace CO ₂ v místnosti (vlastní)	60
Obr. 31: Průběh relativní vlhkosti vzduchu v místnosti (vlastní).....	60
Obr. 32: Průběh teploty vzduchu v místnosti (vlastní).....	61

Obr. 33: Individuální adresy senzorů (vlastní)	61
Obr. 34: Zapojení modulu na sběrnici KNX (vlastní)	62
Obr. 35: Měřené hodnoty z KNX sběrnice (vlastní)	62

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vliv zvýšené koncentrace CO ₂ na člověka [7].....	17
Tabulka 2: Zdravotní účinky úrovně COHb v krvi na zdravé dospělé buňky [15].....	18
Tabulka 3: Předpisy stanovující limity pro jednotlivé faktory vnitřního prostředí [10] .	20
Tabulka 4: Třídy práce dle průměrného energetického výdeje M [11]	21
Tabulka 5: Zátěž teplem při práci na nevenkovním pracovišti [11].....	22
Tabulka 6: Příпустné hodnoty nastavení mikroklimatických podmínek pro klimatizované pracoviště třídy I a IIa [11]	23
Tabulka 7: Hodnoty PEL a NPK-P pro oxid uhelnatý a oxid uhličitý [11]	23
Tabulka 8: Požadavky na výslednou teplotu kulového teploměru [17]	24
Tabulka 9: Průměrné hodnoty výsledných teplot, rychlostí proudění a relativní vlhkosti vzduchu [18]	25
Tabulka 10: Funkce pro zpracování hodnot koncentrace oxidu uhličitého	64
Tabulka 11: Funkce pro zpracování hodnot koncentrace oxidu uhelnatého	64
Tabulka 12: Funkce pro zpracování hodnot tlaku vzduchu.....	65
Tabulka 13: Funkce pro zpracování hodnot teploty vzduchu.....	65
Tabulka 14: Funkce pro zpracování hodnot relativní vlhkosti vzduchu	66
Tabulka 15: Funkce pro zpracování hodnot hustoty prachových částic.....	66

1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá problematikou měření kvality ovzduší ve vnitřních prostorách staveb. V oblasti moderního řízení budov je hlavním cílem snížení nákladů na energie a poskytnutí tepelného komfortu ve vnitřním prostředí. Je tedy zapotřebí, aby budovy byly co nejméně energeticky náročné. Tyto požadavky jsou řešeny za pomoci kvalitnějšího zateplení, dokonalejší těsnosti dveří a oken v budově, což však omezuje přirozené větrání a vede k postupnému zhoršování kvality vnitřního prostředí. Vliv uzavřeného prostoru může vyvolat například kromě vysoké koncentrace oxidu uhličitého také zvýšenou vlhkost. Z toho důvodu pak může docházet k tvorbě plísní, což může přinášet další nepříznivé vlivy na pobyt člověka v takovémto prostředí. Moderní budovy jsou často vybaveny automatickými rekuperačními jednotkami vzduchu či automatickým větráním. V případě informovanosti o stavu ovzduší lze tyto jednotky, které se starají se o vytápění a větrání, správně využívat pro výměnu vzduchu v budově, a to nejen dle požadavků na udržení správné teploty, ale i dle kvalitativních parametrů ovzduší.

Největší význam použití automatizovaných budov je pro oblasti účelových staveb, jako jsou nemocnice, kancelářské prostory, nákupní střediska a jiné. V současné době je však trendem rekuperační jednotky využívat také pro řízení teploty v rodinných domech, a to tak, aby správná teplota a kvalita ovzduší vedla k dokonalému komfortu uživatelů domu. Z těchto důvodů se stává měření a řízení kvality ovzduší stále aktuálnější a rozšířenější tématem.

Pro měření stavu ovzduší je možné využít řadu komerčně dostupných produktů, které lze využít pro získání dat o kvalitě ovzduší s jednotlivými systémy zajišťujícími regulaci vzduchu v budově. Vždy je však potřebné volit takové snímače, které budou vyhovovat danému komunikačnímu rozhraní řídicí jednotky užití pro řízení v budově. Jedním z nejrozšířenějších sběrnicových systémů pro řízení budov je KNX sběrnice. Hlavním cílem této práce je navrhnout a otestovat prototyp zařízení, které by umožňovalo pomocí sběrnice KNX poskytovat řídicímu systému informace o stavu ovzduší jednotlivých částí budovy. Například informace o koncentraci oxidu uhličitého, oxidu uhelnatého, prachových částic, teplotě vlhkosti atd.

Existují komerčně dostupná zařízení, která některé z těchto parametrů měří a vyhodnocují, avšak v některých případech nemusí být zcela vhodná, například z důvodu pořizovací. Cílem práce je však navrhnout takové zařízení, které by umožňovalo měřit v dostatečné přesnosti všechny dostupné kvalitativní parametry, které mají vliv na komfort člověka při pobytu ve vnitřních prostorách budov. Zařízení bude navrženo modulárně tak, aby jej bylo možné osadit vždy jen těmi senzory, které jsou potřebné pro konkrétní užití.

Tato práce je systematicky rozdělena do jednotlivých částí. Úvodní části textu se věnují teoretické problematice kvality ovzduší působící na lidský organismus a také důvodům, proč je dobré na kvalitu ovzduší při řízení budov myslet. Následují části pojednávající o normách a hygienických předpisech, které je potřeba v jednotlivých vnitřních prostorách budov dodržovat. Po těchto teoretických částech práce přechází do popisu technické oblasti pojednávající o možnostech a způsobech měření jednotlivých parametrů ovzduší.

V dalších kapitolách se práce věnuje oblasti popisující obecnou problematiku o sběrnici KNX a dále poté samotnému návrhu vlastního měřicího zařízení. Jsou zde uvedeny popisy použitých komponent a jednotlivá schémata navrženého řešení. Závěrečné části se poté zabývají problematikou praktického testovacího měření některých kvalitativních parametrů ovzduší v konkrétních vybraných prostorách budov.

2 Vliv vnitřního prostředí budov na člověka

Mikroklima, tedy souhrn klimatických podmínek vnitřního prostředí, může mít významný vliv na funkci a zdraví lidského organismu. Mezi hlavní posuzované parametry patří především teplota a relativní vlhkost ovzduší nebo rychlost proudění vzduchu. Dále se v ovzduší mohou vyskytovat různé chemické látky a prachy. Na kvalitu daného prostředí má také vliv hluk či míra osvětlení.

Hodnocení mikroklimatických podmínek může být pojato dvěma způsoby, tedy objektivně a subjektivně. Objektivní posouzení vychází ze změřených hodnot parametrů prostředí. Subjektivní hodnocení poté odpovídá míře pocitu pohody jednotlivých osob v daném prostředí. Z tohoto pohledu jsou pak tyto subjektivní názory normou ČSN EN ISO 7730 (Ergonomie tepelného prostředí) kategorizovány do stupnice. Při tomto hodnocení jsou do výsledku zahrnuty vždy také veškeré další faktory, jako například pohlaví, věk, zdravotní a psychický stav, míra aklimatizace na dané prostředí, charakter pracovní činnosti, oděv dotazovaného a podobně.

Pro tuto práci byly vybrány základní parametry, které bývají ve vnitřních prostorách nejčastěji měřeny a posuzovány. Jedná se o teplotu, relativní vlhkost a tlak vzduchu, koncentraci oxidu uhličitého a oxidu uhelnatého a také prašnost.[1], [2]

2.1.1 Teplota

Při posuzování tepelné zátěže je důležitá takzvaná tepelná pohoda. Tento pojem lze popsat jako subjektivní pocit člověka při pobytu ve vnitřním prostředí. Ve stavu tepelné pohody je teplota těla s teplotou okolí natolik v rovnováze, že není zatížen termoregulační systém člověka. Celková produkce tepla člověkem (metabolický tepelný tok) je tudíž vyrovnána tokem tepla, které je z těla odváděno.

Jelikož tedy není pro ideální míru tepelné pohody žádoucí pocit chladu ani přílišného tepla, je nutné teplotní rozsah prostředí přizpůsobit. Produkce tepla z lidského těla závisí mimo jiné na tom, zda je člověk v daném okamžiku v klidu, či provádí nějakou pohybovou aktivitu. Aby nedošlo k přehřátí organismu, je nutné teplo z těla odvádět, a to pomocí ochlazování okolního prostředí. To však nesmí být natolik intenzivní, aby naopak způsobilo přílišné snížení teploty těla. Působí-li na lidskou tkáň teploty pod $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo nad $41\text{ }^{\circ}\text{C}$, dochází k nepříznivému působení na buňky. Tyto extrémní stavy jsou bez významnějšího dočasného či trvalého poškození snesitelné pouze po krátkou dobu. Ačkoli se na tepelné pohodě člověka podílí více faktorů, existují studie, které zjistily, že člověk, vykonávající lehkou práci, podává stoprocentní výkon při $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vzroste-li teplota na $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, klesá jeho schopnost plného výkonu o 25 % a při $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ dokonce o 50 %.

Teplotní zátěž je také závislá na době působení, tedy zda působí dlouhodobě či krátkodobě. Z pohledu dlouhodobé zátěže je určující množství tekutin, které člověk ztratí prostřednictvím dýchání a pocení, krátkodobá zátěž je pak vyjádřena množstvím akumulovaného tepla v organismu. Lidský organismus je schopen snést teplotu až kolem $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale pouze po omezenou dobu, zhruba po 4 hodiny. Se vzrůstající vlhkostí se však tato doba zkracuje. Vysoké teploty se projevují rozšířením cév (vazodilatace), tedy i zvýšením krevního průtoku, pocením, zvýšenou únavou a sníženou schopností soustředit se, což může vést k různým úrazům. Pokud se člověk v nepřiměřeně teplém prostředí nachází po delší dobu, může u něj dojít k nekontrolovatelně zrychlenému a prohloubenému dýchání, nevolnostem, zvracení, průjmu, krvácení z nosu a úst, dále také k prudkému snížení pocení či diastolického krevního tlaku, bolestem hlavy a svalů, bolestem u srdce, křečím a změnám chování. Nastane-li tepelný šok, tělesná teplota se zvýší na hodnotu přes $41\text{ }^{\circ}\text{C}$, zastavuje se pocení a nastává kóma. V této fázi je vysoká pravděpodobnost nevratných poškození mozku či smrti.

Při vystavení člověka chladnému prostředí dochází k omezení průtoku krve kůží (vazokonstrikce), stoupá krevní tlak i srdeční frekvence a zvyšuje se také spotřeba kyslíku. Obrannou funkcí organismu je v tomto případě termogeneze, tedy svalové napětí (třes), které je schopno vyvolat až desetinásobné zvýšení tepelné produkce těla. Nejdůležitější je snaha o udržení stálé teploty tělesného jádra na hodnotě 37 °C. Končetinám, prstům či ušním lalůčkům může však teplota klesnout až pod zhruba 20 °C. Při delším působení pak klesá i teplota samotného tělesného jádra, je oslabeno dýchání, srdeční frekvence se zpomaluje a snížená aktivita centrální nervové soustavy způsobuje ospalost. Extrémně nízké teploty pak mohou způsobit omrzliny nebo až smrt, a to z důvodu selhání krevního oběhu. Nízká teplota v součinnosti s nízkou vlhkostí totiž vede k ochrnutí krevních kapilár, čímž vzniká městnání krve a otoky končetin.[2], [3], [4]

2.1.2 Relativní vlhkost vzduchu

Na hodnotě vlhkosti vzduchu ve vnitřních prostorech se projevuje venkovní vlhkost ovzduší, množství lidí a také různé technologické či jiné zdroje. Relativní vlhkost v místnosti by se měla pohybovat okolo 30 až 65 %, jelikož pro lidský organismus jsou ideální hodnoty v rozmezí 40 až 45 %. Vytápěním vnitřních prostor však vlhkost vzduchu značně klesá, a to až na hodnoty kolem 20 %. Tento stav může způsobovat intenzivnější vysoušení sliznic horních cest dýchacích, což má za následek větší náchylnost k onemocněním, konkrétně z důvodu snížené ochranné funkce a snadnějšího průniku škodlivin až do dolních cest dýchacích. Je proto vhodné v těchto případech uměle vlhkost v místnosti zvyšovat, avšak nejvýše na hodnotu zhruba kolem 40 %. Pokud naopak působí zároveň vysoká teplota i vlhkost, není přirozená reakce těla v podobě pocení dostatečná, jelikož se pot z těla hůře odpařuje.[2], [3], [4]

2.1.3 Tlak vzduchu

Na lidský organismus mají nezanedbatelný vliv také změny počasí. Těmito souvislostmi se zabývá bioklimatologie. Ačkoli je člověk změnám počasí do jisté míry přizpůsoben, výraznější výkyvy mohou u citlivějších osob vést například k bolestem hlavy, kloubů či svalů. Mezi další příznaky zvýšené citlivosti na změny počasí (meteorosenzitivitu) může patřit také ztížené dýchání, ospalost a malátnost.

Při nízkém tlaku vzduchu stoupá krevní tlak, což může být nebezpečné u osob, trpících onemocněními krevního oběhu. U vyššího stupně přecitlivělosti na tyto změny (meteorotropismus) může dojít ke zvýšení srdeční frekvence a dokonce i k infarktu.[12]

2.1.4 Oxid uhličitý CO₂

Oxid uhličitý je běžnou součástí vzduchu (čerstvý venkovní vzduch má cca 400 ppm). CO₂ vzniká oxidací organických látek. Do vnitřního prostředí staveb se dostává jako produkt dýchání lidí, zvířat a rostlin. Při omezeném větrání dochází ke zvyšování jeho koncentrace. S tím mohou být spojeny projevy:

- Při překročení koncentrace 1000 ppm se může zhoršovat soustředění, může se objevit pocit ospalosti a vydýchaného vzduchu.
- Při překročení 2000 ppm může kromě výše uvedeného docházet u některých osob k bolesti hlavy.
- Při překročení 5000 ppm dochází ke zrychlení tepu.
- Při překročení 45000 ppm může dojít ke ztrátě vědomí, případně smrti.
- Koncentrace CO₂ ve vzduchu vydechovaném člověkem je až 50000 ppm.

Za hodinu je člověk schopen vyprodukovat 13 až 77 litrů CO₂, a to v závislosti na vykonávané činnosti.

Oxid uhličitý se používá jako indikační veličina pro posuzování vnitřního prostředí, umožňuje posuzovat úroveň větrání, protože se jeho koncentrace dá snadno měřit. Jelikož koncentraci CO₂ není člověk svými smysly schopen posoudit, je osobní hodnocení kvality vzduchu velice nespolehlivé. Lidský organismus přestává koncentraci pachů po určité chvíli vnímat a čichové orgány se přizpůsobují prostředí, v němž se vyskytuje. Avšak při určité koncentraci se vliv oxidu uhličitého projeví nesoustředěností, malátností a podobně. Účinky jednotlivých koncentrací oxidu uhličitého na člověka jsou zobrazeny v tabulce níže Tabulka 1. [5], [6], [7]

Tabulka 1: Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na člověka [7]

Koncentrace CO ₂	Účinek na lidský organismus
cca 350 ppm	úroveň venkovního prostředí
do 1000 ppm	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
1200–1500ppm	doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorech
1000–2000ppm	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
2000–5000 ppm	nastávají možné bolesti hlavy
5000 ppm	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5000 ppm	nevolnost a zvýšený tep
> 15000 ppm	dýchací potíže
> 40000 ppm	možná ztráta vědomí

2.1.5 Oxid uhelnatý CO

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, není dráždivý a je lehčí než vzduch. Přírodní koncentrace ve vzduchu se pohybují v rozmezí 50–230 µg/m³, v místech s hustou dopravou nebo například v silničních tunelech mohou krátkodobé koncentrace přesahovat desítky mg/m³. Oxid uhelnatý dosahuje i v interiérech, kde nejsou zdroje přibližně stejných hodnot jako ve venkovním ovzduší. Ve vnitřním prostředí, a to tam, kde se nesprávně provozují spalovací zdroje, ale mohou koncentrace CO dosahovat i vyšších hodnot – například při používání plynu k vaření a při špatně zajištěné výměně vzduchu v domácnostech mohou koncentrace CO dosáhnout až jednotek mg/m³.

Oxid uhelnatý prakticky neproniká pokožkou, takže převážnou expoziční cestou je inhalace (vdechování). Toxicita CO je dána tím, že znemožňuje/omezuje přenos kyslíku z plic do tkání. Difúzí se oxid uhelnatý rychle dostává z plic do krve, kde se váže na železo v krevním barvivo hemoglobinu za vzniku karboxyhemoglobinu (COHb) a omezuje tak kapacitu krve pro přenos kyslíku (afinita hemoglobinu k oxidu uhelnatému je 200–250x vyšší než ke kyslíku).

Vazba oxidu uhelnatého se železem hemoglobinu snižuje přenosovou kapacitu krve pro kyslík a brání také uvolňování kyslíku ve tkáních. Při vyšších koncentracích se CO váže i na další bílkoviny obsahující železo, jako je myoglobin nebo cytochromoxidáza. (Afinita myoglobinu k CO je 30–50x vyšší než ke kyslíku). Tím dále klesá mezibuněčný transport kyslíku a tkáně trpí jeho nedostatkem tzv. hypoxií. Ta se nejprve projevuje poruchami funkce citlivých orgánů a tkání s nejvyšší spotřebou kyslíku, jako je mozek, srdce, kosterní svalstvo, eventuálně vyvíjející se plod.

Během expozice stabilní koncentraci CO v ovzduší procento COHb nejprve rychle narůstá, po 3 hodinách se začíná vyrovnávat a po 6–8 hodinách expozice dosahuje rovnovážného stavu. Vylučování CO z organismu probíhá podle stejných zákonitostí jako příjem, poločas je v rozsahu 2–8 hodin. Proto se často hmotnostní koncentrace a limity pro CO vyjadřují jako

osmihodinové klouzavé průměry, neboť tak nejlépe vystihují odpověď lidského organismu. Současně při nízké zátěži v běžném prostředí po dosažení rovnovážného stavu mohou sloužit i jako 24 hodinové koncentrace.

Z hlediska ochrany zdraví je doporučováno, aby hladina COHb v krvi nepřesáhla 2,5 %, to je hodnota, která nemá negativní následky ani pro citlivou populaci (například lidé se srdečním onemocněním, vyvíjející se plod). [8], [15]

Tabulka 2: Zdravotní účinky úrovně COHb v krvi na zdravé dospělé buňky [15]

% COHb	Účinek
0,3–0,7	Normální rozsah u nekuřáka v důsledku endogenní tvorby CO
0,7–2,9	Žádné zjištěné fyziologické změny
2,9–4,5	Kardiovaskulární změny u kardiaků
4–6	Obvyklé hodnoty zjišťované u kuřáků, zhoršení v psychomotorických testech
7–10	Kardiovaskulární změny u běžných pacientů (zvýšený krevní tlak a průtok krve tepnami)
10–20	Slabé bolesti hlavy, slabost, možné poškození plodu
20–30	Silné bolesti hlavy, nevolnost, zhoršení pohybu končetin
30–40	Silné bolesti hlavy, podráždění, zmatení, zhoršení ostrosti zraku, nevolnost, svalová ochablost, závratě
40–50	Křeče a bezvědomí
60–70	Kóma, zhroucení, smrt

2.1.6 Prach

Prach je definován jako polydisperzní tuhý aerosol, tedy systém různě velkých částic rozptýlených v plynu. Lidskou činností prach vzniká například při mechanickém zpracovávání pevných materiálů či při jiných procesech. V přírodě je pak vytvářen působením proudění vzduchu na zemský povrch nebo činností sopek.

Prachové částice jsou označovány jako PM (particulate matter) a dělí se na dvě frakce, PM_{2,5} a PM₁₀. Názvy těchto frakcí vyplývají z velikosti částic, tudíž jako PM_{2,5} jsou označovány ty, které dosahují maximálně 2,5 µm. Jelikož se jedná o velmi malé částice, jsou pro člověka nebezpečné tím, že se mohou vdechováním snadno dostat hluboko do plic. Často obsahují těžké kovy a toxické organické sloučeniny. Z hlediska složení i velikosti částic tedy tato frakce ohrožuje lidské zdraví více než PM₁₀, jejíž částice dosahují velikosti až od 2,5 µm do 10 µm. Pravděpodobnost průniku do hlubších struktur plic je zde oproti předchozímu typu nižší.

Vliv na lidský organismus závisí na druhu prachu dle jeho účinků na člověka. Prachy s nespecifickým účinkem často při dlouhodobých expozicích zatěžují samočisticí mechanismy plic, což může vést až k chronickému zánětu průdušek. Prach s fibrogenním účinkem pak bývá příčinou zvýšeného bujení plicního vaziva, označovaného jako plicní fibróza. Další účinky se mohou projevovat jako mechanické dráždění sliznic v dýchacích cestách či spojivkách, nebo mohou způsobit i alergické reakce při styku s pokožkou. Choroboplodné zárodky, zachycující se na částicích prachu, pak mohou způsobit i závažná onemocnění, kam se řadí i plísňové nebo bakteriální infekce. Prachy tvořené toxickými látkami mohou mít vliv nejen na samotný dýchací systém, ale bývají dále absorbovány krví, což vede k systematické intoxikaci. Některé prachy, označované jako karcinogenní, mohou způsobovat i nádorová onemocnění.

Mezi nejčastější zdravotní potíže a nemoci, způsobené vlivem prachových částic, tedy patří především následující:

- respirační potíže (kašel, ztížené dýchání), zhoršení astmatu
- snížená funkčnost plic, rakovina plic
- kardiovaskulární onemocnění, srdeční arytmie, lehký infarkt, úmrtí

Lidé trpící nemocemi plic a srdce jsou přitom spolu s dětmi a seniory nejvíce ohroženi. V případě zvýšeného znečištění ovzduší prachovými částicemi se však mohou dočasné symptomy projevit i u jinak zcela zdravých osob. [9], [16]

3 Prostředí staveb

Podmínky vnitřního prostředí budov jsou v České republice upraveny v několika zákonech. Mezi hlavní z nich patří především tyto:

- Zákon o územním plánování a stavebním řádu neboli stavební zákon (Zákon č. 183/2006 Sb.)
- Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů (Zákon č. 258/2000 Sb.)
- Zákoník práce (Zákon č. 262/2006 Sb.)

Vždy však záleží na typu stavby a účelu jejího použití. Zvláštním případem jsou pak tzv. čisté prostory, tedy zdravotnická pracoviště. [10]

Tabulka 3: Předpisy stanovující limity pro jednotlivé faktory vnitřního prostředí [10]

Typ prostředí	Předpis	Existující limity pro:
pracovní	NV č. 361/2007 Sb., ve znění NV č. 93/2012 Sb.	MKL, chemické látky a prašnost, osvětlení, větrání
stravovací	vyhláška č. 137/2004 Sb. ve znění č. 602/2006 Sb.	žádné limity neexistují
školské	vyhláška č. 465/2016 Sb.	MKL, osvětlení, větrání
pobytové	vyhláška č. 6/2003 Sb.	MKL, chemické látky a prašnost, výskyt mikroorganismů, výskyt roztočů
bazény, sauny	vyhláška č. 238/2011 Sb.	MKL, osvětlení, větrání, mikrobiální kontaminaci vody
vnitřní prostředí staveb	vyhláška č. 20/2012 Sb.	větrání, koncentrace CO ₂

Poznámky k Tabulce 2: NV – nařízení vlády, MKL – mikroklima (teploty, relativní vlhkost, rychlost proudění vzduchu). Některé údaje zde byly upraveny pro aktuální platnost uvedených předpisů.

3.1 Hygienické předpisy pro pracovní prostředí

Hygienické limity pro pracovní prostředí jsou dány Nařízením vlády č. 361/2007 Sb. (jedná se o Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci) ve znění NV č. 93/2012 Sb. Hraniční hodnoty jednotlivých parametrů však úzce souvisejí s druhem vykonávané činnosti. Z tohoto důvodu je podstatné rozdělení na třídy práce, které je uvedeno níže (viz Tabulka 4).

Tabulka 4: Třídy práce dle průměrného energetického výdeje M [11]

Třída práce	Druh práce	M (W/m²)
I	Práce vsedě s minimální celotělovou pohybovou aktivitou, kancelářské administrativní práce, kontrolní činnost v dozornách a velínech, psaní na stroji, práce s PC, laboratorní práce, sestavování nebo třídění drobných lehkých předmětů.	≤ 80
IIa	Práce převážně vsedě spojená s lehkou manuální prací rukou a paží, řízení osobního vozidla, a některých drážních vozidel, přesouvání lehkých břemen nebo překonávání malých odporů, automatizované strojní opracovávání a montáž malých lehkých dílců, kusová práce nástrojářů a mechaniků, pokladní.	81 až 105
IIb	Práce spojená s řízením nákladního vozidla, traktoru, autobusu, trolejbusu, tramvaje a některých drážních vozidel a práce řidičů spojená s vykládkou a nakládkou. Převažující práce vstojе s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou - dělnice v potravinářské výrobě, mechanici, strojní opracování a montáž středně těžkých dílců, práce na ručním lisu. Práce vstojе s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou spojená s přenášením břemen do 10 kg prodáváči, lakýrníci, svařování, soustružení, strojové vrtání, dělník v ocelárně, valcír hutních materiálů, tažení nebo tlačení lehkých vozíků. Práce spojená s ruční manipulací s živým břemenem, práce zdravotní sestry nebo ošetřovatelky u lůžka.	106 až 130
IIIa	Práce vstojе s trvalým zapojením obou horních končetin občas v předklonu nebo vkleče, chůze -údržba strojů, mechanici, obsluha koksové baterie, práce ve stavebnictví - ukládání panelů na stavbách pomocí mechanizace, skladníci s občasným přenášením břemen do 15 kg, řezníci na jatkách, zpracování masa, pekaři, malíři pokojů, operátoři poloautomatických strojů, montážní práce na montážních linkách v automobilovém průmyslu, výroba kabeláže pro automobily, obsluha válcovacích tratí v kovoprůmyslu, hutní údržba, průmyslové žehlení prádla, čištění oken, ruční úklid velkých ploch, strojní výroba v dřevozpracujícím průmyslu.	131 až 160
IIIb	Práce vstojе s trvalým zapojením obou horních končetin, trupu, chůze, práce ve stavebnictví při tradiční výstavbě, čištění menších odlitků sbíječkou a broušením, příprava forem na 15 až 50 kg odlitky, foukači skla při výrobě velkých kusů, obsluha gumárenských lisů, práce na lisu v kovárnách, chůze po zvlněném terénu bez zátěže, zahradnické práce a práce v zemědělství.	161 až 200
IVa	Práce spojená s rozsáhlou činností svalstva trupu, horních i dolních končetin - práce ve stavebnictví, práce s lopatou ve vzpřímené poloze, přenášení břemen o váze 25 kg, práce se sbíječkou, práce v lesnictví s jednomužnou motorovou pilou, svoz dřeva, práce v dole - chůze po rovině a v úklonu do 15°, práce ve slévárnách, čištění a broušení velkých odlitků, příprava forem pro velké odlitky, strojní kování menších kusů, plnění tlakových nádob plyny.	201 až 250
IVb	Práce spojené s rozsáhlou a intenzivní činností svalstva trupu, horních i dolních končetin - práce na pracovištích hlubinných dolů - ražba, těžba, doprava, práce v lomech, práce v zemědělství s vysokým podílem ruční práce, strojní kování větších kusů.	251 až 300
V	Práce spojené s rozsáhlou a velmi intenzivní činností svalstva trupu, horních i dolních končetin- transport těžkých břemen např. pytlů s cementem, výkopové práce, práce sekerou při těžbě dřeva, chůze v úklonu 15 až 30°, ruční kování velkých kusů, práce na pracovištích hlubinných dolů s ruční ražbou v nízkých profilech důlních děl.	301 a více

Ostatní práce, které zde uvedené nejsou, jsou zařazeny ke třídě podobného charakteru.

V oblasti mikroklimatu patří mezi rizikové faktory zátěž teplem či chladem. Chemické faktory jsou členěny na látky a směsi obecně, olovo, prach, karcinogeny, mutageny, látky toxické pro reprodukci a azbest. [11]

3.1.1 Práce s rizikovými faktory mikroklimatických podmínek

Zátěž teplem závisí kromě množství metabolického tepla, které vzniká při svalové práci, také na samotných faktorech prostředí. Patří zde teplota vzduchu t_a , výsledná teplota kulového teploměru t_g , rychlost proudění vzduchu v_a , relativní vlhkost vzduchu R_h a také stereoteplota t_{st} , což je

směrová radiační teplota měřená kulovým stereoteploměrem, která v daném prostorovém úhlu sleduje radiační účinek okolních ploch.

V následující tabulce (Tabulka 5) jsou uvedeny hraniční minimální a maximální hodnoty teplot, rychlosti proudění a také relativní vlhkosti vzduchu, a to vždy pro jednotlivé třídy práce v nevenkovním prostředí a jim odpovídající hodnoty energetického výdeje.

Operativní teplota t_o se vypočítává jako časově vážený průměr za dobu práce či průměr jednotlivých měření, z teploty vzduchu t_a , výsledné teploty kulového teploměru t_g , rychlosti proudění vzduchu v_a a stereoteploty t_{st} . v případě, že rychlost proudění vzduchu v_a na pracovišti je menší nebo rovno hodnotě 0,2 m/s, platí, že $t_o = t_g$.

Tabulka 5: Zátěž teplem při práci na nevenkovním pracovišti [11]

Třída práce	M (W/m ²)	t_{omin} nebo t_{gmin} [°C]	t_{omax} nebo t_{gmax} [°C]	v_a [m/s]	Rh [%]
I	≤ 80	20	27	0,01 až 0,2	
IIa	81 až 105	18	26		
IIb	106 až 130	14	32	0,05 až 0,3	
IIIa	131 až 160	10	30	0,1 až 0,5	30 až 70
IIIb	161 až 200	10	26		
IVa	201 až 250	10	24		
IVb	251 až 300	10	20		
V	301 a více	10	20		

Jedná-li se o lehčí práce spadající do tříd I a IIa, upravuje legislativa teplotu pracoviště blíže, a to především z hlediska klimatizace, respektive vytápění. Tabulka 6 dělí obě třídy práce do kategorií A, B a C. Kategorie A znamená požadavek vysoké kvality prostředí, kde je vykonávána činnost náročná na pozornost a soustředění. Do kategorie B spadají pracoviště se střední kvalitou prostředí, kdy je vyžadována průběžná pozornost a soustředění. Kategorie C poté zahrnuje všechna ostatní klimatizovaná pracoviště. Ve druhé části tabulky jsou zobrazeny jednotlivé přípustné hodnoty teplot s ohledem na tepelný odpor oděvu zaměstnance. [11]

Tabulka 6: Příпустné hodnoty nastavení mikroklimatických podmínek pro klimatizované pracoviště třídy I a IIa [11]

Třída práce	M (W/m ²)	Kategorie	Klimatizovaná pracoviště			
			nastavení vytápění		nastavení chlazení	
			tepelný odpor oděvu 1,0 clo		tepelný odpor oděvu 0,5 clo	
			t _{omin} (t _{gmin}) [°C]		t _{omin} (t _{gmin}) [°C]	
I	≤ 80	A	22	±1,0	24,5	±1,0
		B		±1,5		+1,5 -1,0
		C		+2,5 -2,0		+2,5 -2,0
IIa	81 až 105	A	20	±1,0	23	±1,0
		B		±1,5		+1,5 1,0
		C		+2,5 -2,0		+2,5 -2,0

3.1.2 Práce s chemickými faktory a prachem

Hygienický limit chemické látky stanovuje přípustný expoziční limit (PEL) nebo nejvyšší přípustná koncentrace (NPK-P). Hygienický limit prachu, kterému je zaměstnanec vystaven, je udáván pouze pomocí přípustného expozičního limitu. Jedná se o celosměnový časově vážený průměr koncentrace plynů, par nebo aerosolů v ovzduší, kterému je zaměstnanec vystaven, aniž by u něj došlo k poškození zdraví i při celoživotní pracovní expozici.

Nejvyšší přípustné koncentraci dané chemické látky může být zaměstnanec exponován nepřetržitě po krátkou dobu, pokud nepocítuje dráždění očí nebo dýchacích cest či dokud není ohroženo jeho zdraví a spolehlivost výkonu práce. Hodnotu nejvyšší přípustné koncentrace lze porovnávat s časově váženým průměrem koncentrace dané látky po maximální dobu 15 minut. Takovéto úseky smí být během osmihodinové pracovní doby nejvýše 4, a to s odstupem nejméně jedné hodiny. Během nich smí být průměrná koncentrace vyšší než hodnota přípustného expozičního limitu, avšak nesmí přesahovat nejvyšší přípustnou koncentraci.

Legislativa upravuje maximální hodnoty přípustného expozičního limitu i nejvyšší přípustné koncentrace pro několik stovek chemických látek. Pro tuto práci jsou však nejdůležitější pouze oxid uhelnatý a oxid uhličitý, které jsou uvedeny v tabulce níže (Tabulka 7).

Tabulka 7: Hodnoty PEL a NPK-P pro oxid uhelnatý a oxid uhličitý [11]

Látka	Číslo CAS	PEL	NPK-P	Poznámky	Faktor přepočtu na ppm
		mg/m ³			
Oxid uhelnatý	630-08-0	30	150	P	0,873
Oxid uhličitý	124-38-9	9000	45000		0,556

Číslo CAS je kódové označení dané chemické látky, používané v Chemical Abstracts. Písmeno P v poznámkách značí, že u látky nelze vyloučit závažné pozdní účinky. U přípustného expozičního limitu i nejvyšší přípustné koncentrace jsou hodnoty udávány v jednotkách mg/m³.

Nejčastěji se však koncentrace oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého udává v jednotkách ppm (parts per million). Faktor přepočtu z údajů v mg/m^3 na údaj v ppm však platí jen v případě teploty prostředí 25 °C a tlaku 100 kPa. [11]

3.2 Hygienické předpisy pro pobytové místnosti

Pobytovými místnostmi jsou dle vyhlášky č. 268/2009 Sb. takové prostory, které svými parametry (poloha, velikost, stavební uspořádání) splňují podmínky k tomu, aby se v nich zdržovaly osoby. Jejich hygienické předpisy poté upravuje vyhláška 6/2003 Sb.

Mikroklimatické podmínky jsou zde upraveny s ohledem na výjimky, týkající se mimořádně chladných či teplých dnů. Mimořádně chladný den je takový, kdy nejnižší venkovní teplota klesla pod -15 °C. Za mimořádně teplý den se poté považuje takový, jehož maximální venkovní teplota vzduchu přesáhla hodnotu 30 °C.

Příslušné teplotní limity pro pobytové místnosti jsou uvedeny v tabulce níže.

Tabulka 8: Požadavky na výslednou teplotu kulového teploměru [17]

Typ pobytové místnosti	Výsledná teplota t_g [°C]	
	období roku	
	teplé	chladné
Ubytovací zařízení	$24,0 \pm 2,0$	$22,0 \pm 2,0$
Zasedací místnost staveb pro shromažďování většího počtu osob	$24,5 \pm 1,5$	$22,0 \pm 2,0$
Haly kulturních a sportovních zařízení	$24,5 \pm 1,5$	$22,0 \pm 2,0$
Učebny	$24,5 \pm 1,5$	$22,0 \pm 2,0$
Ústavy sociální péče	$24,0 \pm 2,0$	$22,0 \pm 2,0$
Zdravotnická zařízení	$24,0 \pm 2,0$	$22,0 \pm 2,0$
Výstaviště	$24,5 \pm 2,5$	$22,0 \pm 3,0$
Stavby pro obchod	$23,0 \pm 2,0$	$19,0 \pm 3,0$

Relativní vlhkost vzduchu pobytových místností je pro teplé období roku nejvýše 65 % a v průběhu chladného období pak dosahuje nejméně 30 %.

Kvalita vnitřního prostředí je dále hodnocena také z hlediska výskytu chemických látek a prachu. Tyto požadavky jsou považovány za splněné, pokud střední hodnota hodinové koncentrace dané látky nepřekročí limit. Koncentrace prachu je udávána pro dvě odlišné frakce, definované z hlediska velikosti částic. Frakce prachu PM10 obsahuje prachové částice, jejichž většina dosahuje průměru 10 μm . Pro tento prach je maximální povolená hodinová koncentrace 150 $\mu\text{g/m}^3$. Frakce PM2,5 poté analogicky obsahuje převážně částice o velikosti 2,5 μm a limitní koncentrace dosahuje hodnoty 80 $\mu\text{g/m}^3$. Pro oxid uhelnatý je v pobytových místnostech maximální povolená hodinová koncentrace 5000 $\mu\text{m/m}^3$. Limit pro oxid uhličitý v této vyhlášce není stanoven. [12], [17]

3.3 Hygienické předpisy pro školské prostředí

Požadavky na prostředí škol, jejichž seznam je uveden v rejstříku škol a školských zařízení (Zákon č. 561/2004 Sb.), upravuje vyhláška 465/2016, kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. [44]

Z hlediska teploty vzduchu je v učebně nutné zastavit provoz v případě, kdy nastane pokles pod 16 °C v jednom dni či kdy teplota dosahuje hodnot od 16 °C do 18 °C ve třech po sobě následujících dnech. Důvodem k přerušení provozu jsou pak i extrémně vysoké teploty, způsobené překročením venkovní teploty vzduchu přes hranici 30 °C. V následující tabulce jsou uvedeny celoročně přípustné parametry pro mikroklima školských prostor. [18]

Tabulka 9: Průměrné hodnoty výsledných teplot, rychlostí proudění a relativní vlhkosti vzduchu [18]

Typ prostoru	Výsledná teplota			Rychlost proudění	Relativní vlhkost
	$t_{g \text{ min}}$ [°C]	$t_{g \text{ opt}}$ [°C]	$t_{g \text{ max}}$ [°C]	v_a [m/s]	rh [%]
Učebny, pracovny, místnosti určené k dlouhodobému pobytu	20	22 ± 2	28	0,1–0,2	30–65
Tělocvičny	18	22 ± 2	28	0,1–0,2	30–65
Šatny	20	22 ± 2	28	0,1–0,2	30–65
Sprchy	24	–	–	–	–
Záchody	18	–	–	0,1–0,2	30–65
Chodby	18	–	–	0,1–0,2	30–65

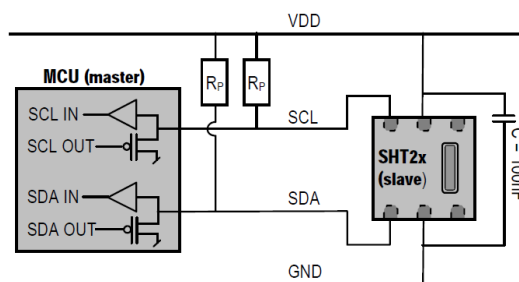
Vyhláška dále udává také nutnost využívání mikroventilace v místnostech s těsnými okny. V případě překročení limitu pro škodlivé látky ve venkovním prostředí však není dovoleno využívat přirozeného větrání a výměna vzduchu pak může být zajištěna pouze vzduchotechnickým zařízením. [14]

4 Senzory prostředí

4.1 Senzor pro měření teploty a relativní vlhkosti

Pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu byl vybrán senzor SHT21 od firmy Sensirion. Vyznačuje se nízkou spotřebou a svou dlouhodobou stabilitou. Každý senzor je výrobcem individuálně kalibrován a testován a nevyžaduje již tedy další kalibraci. Výstupem je zde digitální I²C rozhraní.

Kromě samotného čidla obsahuje senzor také zesilovač, A/D převodník, PROM paměť a digitální procesorovou jednotku. Na obrázku níže je zobrazen senzor v zapojení měřicího obvodu. Obsahuje dva pull-up rezistory a také kondenzátor zajišťující oddělení od napájení.



Obr. 1: Zapojení senzoru SHT21 [34]

V práci byl použit senzor, který je již součástí osazené desky, a tudíž jsou některé části měřicího obvodu, doporučeného výrobcem, již vyřešeny v rámci toho modulu.

Měřicí rozsah pro teplotu je -40 až 125 °C, s přesností měření $\pm 0,3$ °C a rozlišením 0,01 °C (14 bit). Pro vlhkost pak měřicí rozsah senzoru odpovídá hodnotám 0 až 100 %. Přesnost měření je ± 2 % RH a rozlišení 0,04 % RH (12 bit). Napájecí napětí pro SHT21 je doporučeno v rozmezí 2,1 až 3,6 V. Proudová spotřeba je závislá na teplotě a napětí, a v průběhu měření se pohybuje od 270 do 330 μ A. [34]

Senzor je založen na kapacitním principu měření relativní vlhkosti. Jedná se o metodu podobnou metodě odporové. Senzor je složen z dielektrika, jež je tvořeno tenkou vrstvou hygroskopického materiálu, který je schopen absorbovat vlhkost. Dielektrikum je z obou stran vybaveno elektrodami, z nichž je jedna perforovaná a umožňuje kontakt s okolním vzduchem. Množstvím absorbované vody se pak mění výsledná kapacita. [18], [20]

4.2 Senzor pro měření tlaku

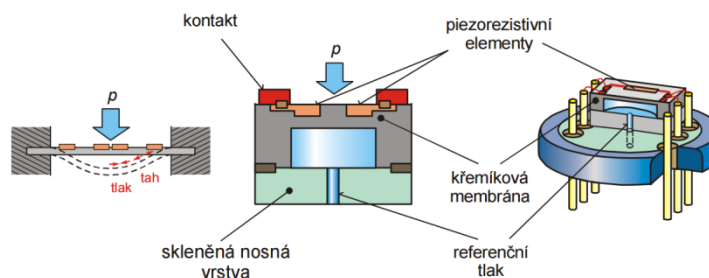
BMP280 od firmy Bosch je senzor pro měření absolutního barometrického tlaku. Modul je umístěn ve vysoce kompaktním pouzdře s osmi piny. Rozměry jsou 2 mm na 2,5 mm s výškou 0,95 mm. Senzor disponuje digitálním výstupem (I²C i SPI rozhraní).

Kromě malých rozměrů je výhodou také nízká spotřeba o hodnotě 2,7 μ A. Napájecí napětí senzoru výrobce udává v rozmezí 1,71 až 3,6 V, přičemž typickou hodnotou bývá 1,8 V. Měřicí rozsah senzoru je 300 až 1100 hPa a absolutní přesnost odpovídá ± 1 hPa při hodnotách tlaku 950 až 1050 hPa a teplotě 0 až 40 °C. Pomocí BMP280 je možné měřit také teplotu, jejíž rozsah je -40 až 85 °C.

Hodnoty přesnosti měření jsou udány pro napájecí napětí 3,3 V. Tlak v rozmezí 700 až 900 hPa je při teplotách 25 až 40 °C měřen s relativní přesností $\pm 0,12$ hPa, což při přepočtu na výšku odpovídá přesnosti ± 1 m. V případě nastavení ultra high resolution módu, který bude popsán níže, je rozlišení hodnoty tlaku 0,0016 hPa a u teploty je to pak 0,01 °C.

Samotný senzor se skládá z elementu, založeném na piezorezistivním jevu, a také z integrovaných obvodů. Ty zajišťují A/D převod a poskytují kompenzaci dat skrze digitální rozhraní.

Piezorezistory jsou polovodičové tenzometry, které jsou vyrobeny z monokrystalu křemíku. Mechanické namáhání zde způsobuje změnu pohyblivosti nosičů nábojů, což mění odpor a elektrickou vodivost (piezorezistivní jev). Jako piezoelektrický prvek je použit krystal křemíku se třemi osami. Jedná se o elektrickou osu x, mechanickou y a optickou z. Při působení síly na optickou osu je krystal zelektrizován a na elektrické ose vzniká elektrický náboj.



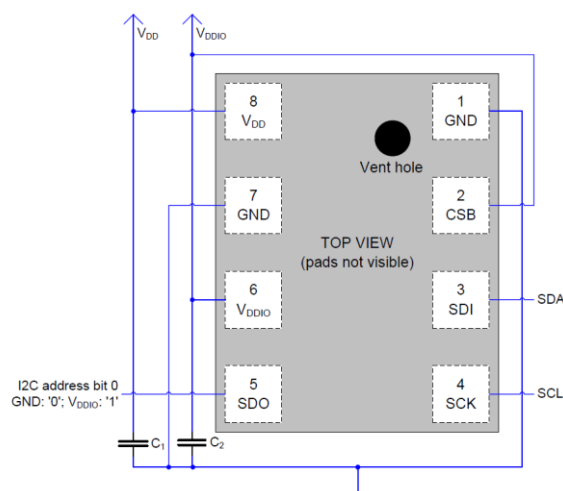
Obr. 2: Čidlo tlaku s difundovanými tenzometry [21]

Piezoelektrické čidlo je konstruováno jako pružná křemíková membrána ve tvaru disku či destičky, která má na svém povrchu polovodičové tenzometry. Jedná se o odpory vytvořené difúzní technologií, kdy je pomocí difúze na určitá místa membrány vpravena dotační přísada. Na Obr. 2 lze vidět membránu v řezu a také znázornění provedení snímače. Působením tlaku zde dochází k mechanickému namáhání jednotlivých elementů, které tímto vykazují příslušnou změnu odporu. Za samotné čidlo je poté zařazen zesilovač s velkým vstupním odporem, pro zajištění impedančního přizpůsobení. U polovodičových tenzometrů je také nutná teplotní kompenzace, která bývá prováděna softwarově při číslicovém zpracování signálu. [21]

Senzor umožňuje pracovat ve třech módech. První z nich je Sleep mode (režim spánku), kdy neprobíhá žádné měření. Normal mode (normální režim) slouží k cyklickému opakování měřicí fáze a fáze Standby, kdy je senzor neaktivní. Forced mode (nucený režim) se používá pro provedení pouze jediného měření, po jehož ukončení senzor automaticky přechází do režimu spánku.

Mezi další parametry patří nastavení převzorkování. K dispozici je pět úrovní rozlišení, kdy se s každou z nich redukuje šum a zvyšuje se výstupní rozlišení o jeden bit. Předdefinované kombinace nastavení pro teplotu i tlak jsou uvedeny v dokumentaci. Z důvodu minimalizace vlivu náhlých změn, jako například prudkého zavření dveří či okna v místnosti, je možno nastavit koeficient filtru, a to od hodnoty 0 (kdy je filtr vypnutý) až po hodnotu 16. Pro usnadnění výběru všech nastavitelných hodnot jsou v dokumentaci k senzoru uvedeny jednotlivé parametry podle účelu jeho použití.

Schéma pro zapojení s použitím I²C rozhraní je zobrazeno na obrázku (Obr. 3) níže. [35]



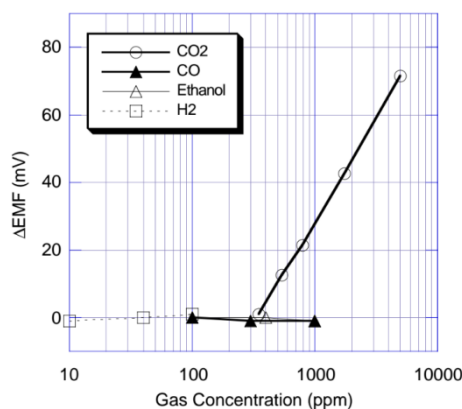
Obr. 3: I²C zapojení senzoru BMP280 [35]

4.3 Senzor pro měření CO₂

Pro měření koncentrace CO₂ v ovzduší byl nejprve vybrán senzor TGS4161. Tento senzor se vyznačuje vysokou citlivostí na plyn CO₂, dlouhou životností a nízkou cenou.

TGS4161 pracuje na elektrochemickém principu. Senzitivní tuhý elektrolyt je vložený mezi dvěma elektrodami, ke kterým je ze spodní strany připevněn ohřívač z oxidu rutheničitého (RuO₂). Senzitivní elektroda (katoda) je sloučeninou uhličitanu lithného (Li₂CO₃) a zlata, zatímco pomocná elektroda (anoda) je čistě ze zlata. Mezi těmito elektrodami je měřeno elektromotorické napětí, které je závislé na koncentraci oxidu uhličitého. Nutností je zde stálá funkce ohřívače, na který je proto kontinuálně přiváděno napětí.

Měřicí rozsah senzoru odpovídá hodnotám 350 až 10 000 ppm, s přesností $\pm 20\%$ při 1 000 ppm. Pro napájení ohřívacího členu je vyžadováno napětí $5\text{ V} \pm 0,2\text{ V}$. Koncentrace je závislá na změně napětí, dané hodnotou referenčního napětí při 350 ppm. Obr. 4 níže pak zobrazuje závislost výsledné koncentrace oxidu uhličitého na změně napětí ΔEMF .



Obr. 4: Závislost koncentrace CO₂ na ΔEMF [33]

Hodnota ΔEMF je výsledkem rozdílu EMF1, tedy napětí při koncentraci 350 ppm, a napětí EMF2, což je naměřená hodnota. [33], [41]

Alternativní variantu pro měření oxidu uhličitého představuje senzor Telaire T6713. Jedná se o senzor s digitálním výstupem v podobě I²C, PWM nebo UART rozhraní. Napájecí napětí by se mělo pohybovat od 4,5 do 5,5 V a typická hodnota proudového odběru je pak 20 mA. Jeho měřicí rozsah činí 0 až 5000 ppm s výrazně vyšší přesností než u předchozího TGS4161. V rozmezí koncentrací 400

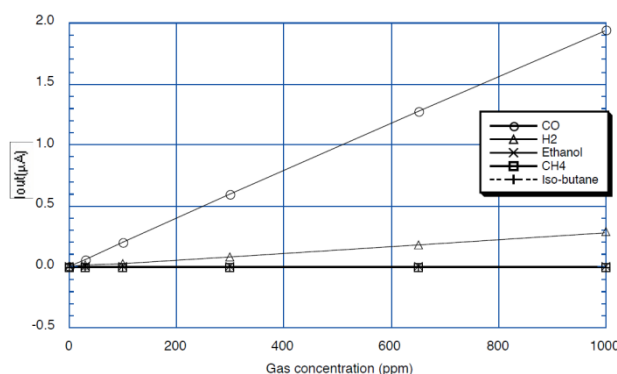
až 5000 ppm odpovídá přesnost hodnotě ± 30 ppm z naměřené hodnoty. Stejně tak při koncentracích 400 až 2 000 ppm je přesnost ± 25 ppm. Výrobce je také garantována doživotní záruka kalibrace. [40]

Senzor pracuje na principu nedisperzní infračervené spektrometrie (NDIR Non-Dispersive Infra-Red). Každá složka plynu absorbuje určité vlnové délky infračerveného světla, odpovídající daným frekvencím. Aby bylo možné určit koncentraci sledovaného plynu, porovnává se energie infračerveného světla prošlého měřeným vzorkem v měřicí komoře s referenčním plynem. Tím je upravený okolní vzduch, který neobsahuje měřené složky. Oba plyny, měřený i referenční, se tedy liší svým složením a tím i energiemi jimi prošlého infračerveného paprsku. Po dopadu na detektor dojde k výchylce membrány, která je následně převedena na měřený signál. [22], [23]

Pro správnou funkci senzoru není vyžadována uživatelská kalibrace, avšak pro docílení maximální přesnosti měření je doporučena samo-kalibrace ABC Logic (Automatic Background Logic). Jedná se o předdefinovanou funkci používanou v aplikacích, kde je senzor vystaven podmínkám venkovního ovzduší nejméně třikrát během sedmi dní. Po spuštění (povolení) funkce ABC Logic pak senzor dosáhne nejvyšší přesnosti po 24 hodinách v zapnutém stavu. [40]

4.4 Senzor pro měření CO

Senzor TGS5042 má měřicí rozsah v rozmezí hodnot 0 až 10000 ppm a přesnost pak méně než $\pm 5\%$ (pro rozsah 0 až 500 ppm). Koncentrace CO je na výstupním proudu lineárně závislá, což představuje graf na obrázku (Obr. 5) níže. Senzor se vyznačuje dlouhou životností a vysokou selektivitou oxidu uhelnatého. Požadované pracovní teploty se pohybují v rozmezí hodnot od -40 až do $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. [30]



Obr. 5: Závislost koncentrace CO na výstupním proudu [30]

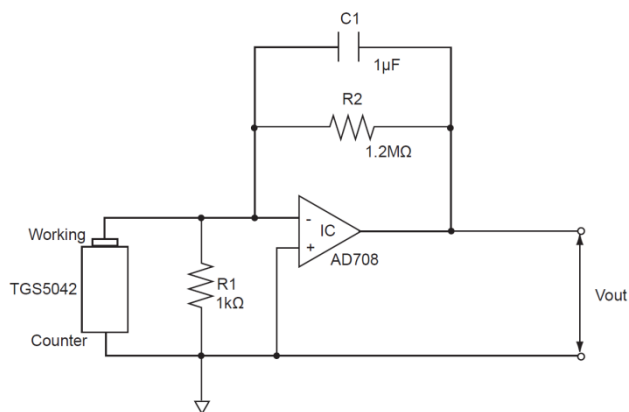
Principem funkce je elektrochemický článek představující proudový zdroj. Elektrolyt v tomto případě není škodlivý pro životní prostředí a není zde riziko jeho úniku. Senzor pracuje v amperometrickém (respektive voltmetrickém) režimu. Jedná se o proces, kdy prochází měřicím elektrolytem proud, který je závislý na koncentraci zkoumaného prvku. Za předpokladu konstantního potenciálového rozdílu dvou elektrod ve vnějším obvodu je možné měřit protékající proud jako funkci koncentrace analyzované látky. [30]

Senzor TGS5042 je tvořen palivovými články se dvěma elektrodami. Jedná se o pracovní elektrodu a protielektrodu, mezi kterými se nachází iontový vodič (elektrolyt). Ve chvíli, kdy se ke kontaktu pracovní elektrody dostane oxid uhelnatý, nastane vlivem chemické reakce s molekulami vody ze vzduchu oxidace plynu CO. Propojení obou elektrod zkratem způsobí přestup iontů H^+ z pracovní elektrody naproti elektrodě. Vnější vedením přecházejí k protielektrodě také elektrony. Do výsledné chemické reakce vstupuje měřený oxid uhelnatý spolu s kyslíkem, za vzniku

oxidu uhličitého. Senzor TGS5042 se tedy chová jako baterie a výslednou hodnotou je zde proud mezi pracovní elektrodou a protielektrodou. [24], [25]

Každý senzor má na svém pouzdře uveden kód udávající hodnotu citlivosti v jednotkách nA/ppm. V tomto případě je hodnota citlivosti 1,511 nA/ppm.

Měřicí obvod pro senzor TGS5042 je uveden na Obr. 6 níže. Je zde použit operační zesilovač pro zesílení napětíového výstupu a také rezistor R1, který slouží proti přepólování. [30]

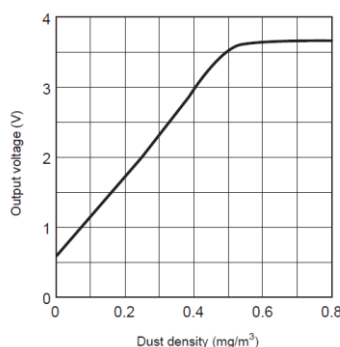


Obr. 6: Zapojení senzoru TGS5042 [30]

4.5 Senzor pro měření prašnosti

V práci byl použit optický senzor prachu GP2Y1010AU0F od firmy Sharp. Zařízení funguje na bázi infračervené LED diody a fototranzistoru. Světlo, procházející měřeným prostředím, se odráží od přítomných prachových částic a následně je zaznamenáváno. Tento senzor je vhodný zvláště pro prachy s velmi jemnými částicemi, jako je například cigaretový kouř.

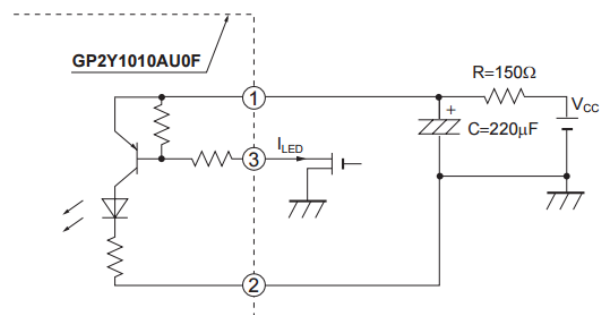
Zařízení má nízkou spotřebu (maximálně 20 mA) a přítomnost prachu je schopno fotometricky detekovat pomocí jediného pulzu. Přesnost měření je 0,35 až 0,65 V/(0,1 mg/m³). Hustota prachových částic závisí na naměřené hodnotě napětí, jak je možné vidět na obrázku (Obr. 7) níže.



Obr. 7: Závislost hustoty prachu na napětí [37]

Minimální detekovatelná hodnota odpovídá 3,4 V, přičemž napětí v prostředí bez prachu se pohybuje v rozmezí hodnot 0 až 1,5 v (obvykle 0,9 V).

Pro správnou funkci senzoru je nutné zapojení napětíového zdroje, rezistoru, kondenzátoru a také spínacího tranzistoru pro obvod infračervené LED diody. Konkrétní zapojení je uvedeno na Obr. 8. [25], [37]



Obr. 8: Zapojení senzoru GP2Y1010AU0F [37]

5 Automatizace budov

Automatizace budov se využívá nejen pro bytové výstavby, ale také pro účelové stavby, jako jsou například nemocnice, kancelářské prostory či nákupní střediska. U účelových budov je důležitý především energeticky úsporný provoz a také flexibilita v adaptaci na změny. Při eventuelních přestavbách je u klasických staveb nutná často rozsáhlá změna elektroinstalace. Automatizované budovy však již nabízí snadnější a úspornější řešení v podobě přeprogramování komponent v systému.

Funkce řízení v budovách je možné rozdělit do několika dílčích skupin. První z nich je řízení vytápění, chlazení a větrání (HVAC – Heating, ventilation and air conditioning). Teplota v místnosti může být nastavena například dle počtu osob nebo v závislosti na venkovní teplotě. Mezi další možnosti řízení prostředí může patřit také sledování kvality vzduchu pro optimální nastavení větrání nebo automatické zastavení chlazení či vytápění v případě, že jsou otevřena okna. Osvětlení pak může být řízeno v závislosti na přítomnosti osob, na snímání jasu místnosti nebo s ohledem na jas světla u venkovního prostředí. Pro nastavení optimálního prostředí místnosti se využívají také žaluzie. V letním období mohou zabránit přehřívání místnosti a v zimě naopak umožní maximální využití slunečního záření. Automatizované budovy mohou dále disponovat bezpečnostními funkcemi, jako například otevření elektricky nastavitelných oken při detekci kouře nebo kontrola při vstupu osob dle biometrických údajů. Uvedené funkce jsou pouze příklady toho, jak může být automatizace budov využívána, avšak konečných aplikací existuje podstatně více. [45]

5.1 Sběrníkové systémy

Přenos dat mezi jednotlivými prvky zajišťuje sběrnice. Aby bylo možné pro ovládání používat zařízení různých výrobců, byla vytvořena Evropská instalační sběrnice (EIBA). Následně byla spolu s dalšími evropskými organizacemi sloučena do sdružení Asociace KNX, a vznikla tak standardizovaná sběrnice s označením KNX/EIB. Všechny přístroje, vyrobené dle těchto standardů jsou tedy mezi sebou vzájemně kompatibilní.

Sběrnice KNX/EIB představuje celosvětový standardizovaný komunikační systém, který v budovách slouží jako síťové informatické spojení zařízení, jako jsou snímače, akční členy, zařízení pro měření a další. Sběrnice, zajišťující vzájemné propojení jednotlivých prvků a také digitální přenos dat, může být realizována v podobě kroucené dvojlinky TP (Twisted Pair), dále pomocí silového kabelu, optického kabelu nebo radiovým spojením. Princip funkce může představovat například proces měření intenzity osvětlení pomocí snímače, který následně vyšle příslušný příkaz po sběrnici směrem k akčnímu prvku. Ten pak vydá potvrzení o přijetí a provede konkrétní příkaz (rozsvícení/zhasnutí). [27]

Z hlediska noremních požadavků vychází instalace KNX/EIB z evropských norem, především se jedná o ČSN EN 50090 (norma pro elektronické systémy) a dále o normy související s komunikačním protokolem a přenosem po IP síti. Všechny noremní požadavky pak byly v roce 2007 zahrnuty do mezinárodní normy, především do ISO/IEC 14543. Veškeré přístroje, které se využívají v KNX/EIB instalacích, musí také plně vyhovovat požadavkům na bezpečnost před úrazem elektrickým proudem.

Jako přenosové médium se v instalacích nejčastěji používá kroucený pár TP1 (Twisted Pair), což je metalické vedení, které zajišťuje propojení vzájemně komunikujících přístrojů na sběrnici. V rámci KNX/EIB musí tento přenos splňovat požadavky na soustavu bezpečného malého napětí SELV (Security Extra Low Voltage).

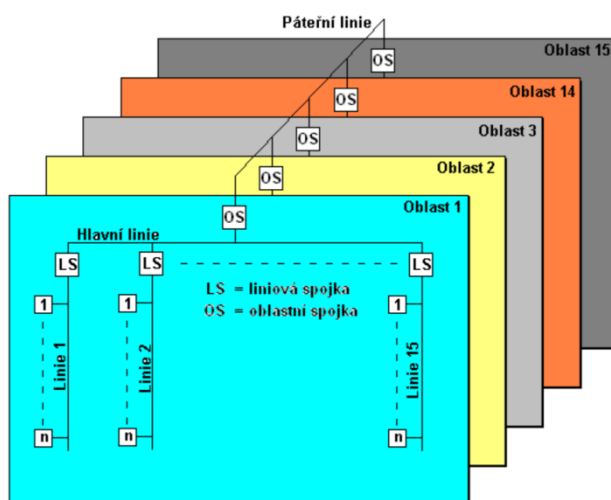
Sběrnice, která je tvořena sdělovacím kabelem, slouží nejen pro napájení všech sběrníkových spojek a zapojených přístrojů, ale také mezi prvky zajišťuje přenos informací. Pro přenos dat

i napájení tedy slouží pouze jeden pár vodičů, které jsou barevně odlišeny. Ke kladnému pólu zdroje napájení je připojen kabel s červeným pláštěm, zatímco k zápornému pólu vede vodič značený černě. Ačkoli pro komunikaci postačuje jen jeden pár vodičů, předepisuje KNX použití i druhého krouceného páru. Tento má jeden z vodičů značen bílou a druhý žlutou barvou, přičemž slouží jako rezerva při poškození. [28]

5.2 Topologické uspořádání KNX

Veškeré přístroje na sběrnici jsou propojeny tak, aby spolu mohly vzájemně komunikovat. Hierarchii členění jednotlivých prvků představuje tzv. stromová topologie. Účastníci, tedy jednotlivé prvky, jsou spojeny společným vedením, které se nazývá linie. Linie se dále spojují do hlavní linie (HL), čímž je vytvořena oblast (O). Dílčí oblasti se poté spojují připojením na páteřní linii (PL, Backbone), viz Obr. 9. Při aplikaci tohoto členění v budově si lze jednu oblast představit například jako jedno podlaží domu.

Linie se dělí až na čtyři liniové segmenty, z nichž je každý se sběrnici propojen pomocí liniového opakovače (zesilovače). Ten zajišťuje galvanické oddělení od základního segmentu a také obousměrný přenos telegramů. Pokud je linií více, propojují se navzájem pomocí liniových spojek. Ty zajišťují nejen galvanické oddělení, ale také komunikaci mezi prvky v rámci dané linie. Tyto telegramy již tedy spojka nepropouští dále. Selektivně pak ale propouští ty zprávy, které jsou určeny pro dané sběrníkové přístroje z jiné linie. Každý segment dále disponuje vlastním zdrojem napájení a může obsahovat až 64 přístrojů. Linie obsahující čtyři segmenty tak může zahrnovat až 256 účastníků. [29], [45]



Obr. 9: Znázornění topologického uspořádání KNX [29]

Zdroj napájení zajišťuje připojení každého z účastníků sběrnice k napětí 24 V. Dále také umožňuje datovou komunikaci v rámci linie, což je dáno vybavením zdroje tlumivkou. Dle počtu účastníků v jednotlivých liniích se určuje typ zdroje. Pro 16 účastníků slouží napájecí zdroj se jmenovitým proudem 160 mA a analogicky pak 320 mA pro 32 účastníků a 640 mA pro 64 účastníků. Tím, že každá z linií disponuje vlastním zdrojem napájení je zajištěno, že při výpadku jednoho ze zdrojů vznikne přerušení komunikace pouze v příslušné linii, bez omezení ostatních. [45]

5.3 Adresování účastníků

Pro správnou komunikaci je důležité, aby měl každý prvek na sběrnici svou vlastní individuální adresu. Tyto se určují již při uvádění do provozu (prostřednictvím programu ETS) a jednotlivě by měly kopírovat logiku členění a rozmístění v rámci budovy. Individuální adresa sestává ze tří čísel, vzájemně oddělených tečkami. První z nich symbolizuje oblast, druhé linii a třetí samotného účastníka. Značení např. 3.2.5 tedy představuje individuální adresu pátého účastníka, ve druhé linii a třetí oblasti.

Pro další úroveň existují dva druhy skupinových adres. První z nich jsou skupinové adresy s hlavní skupinou a podskupinou (dvouúrovňová adresace) a dále se jedná o skupinové adresy s hlavní a střední skupinou a podskupinou (tříúrovňová adresace). Vyššího stupně rozlišení lze tedy dosáhnout u tříúrovňové adresace, jejíž značení opět obsahuje tři čísla, tentokrát však oddělených lomítky. Příkladem může být adresa, jejíž první číslo značí požadované technické zařízení budovy (osvětlení), druhé určuje místnost (obývací pokoj) a třetí pak konkrétní zařízení (lampa). [45]

5.4 Přístroje na sběrnici

Výrobci specializující se na KNX/EIB produkty, nabízejí řadu výrobků od snímačů, přes akční členy až ke zdrojům. Celkové množství KNX kompatibilních zařízení různých značek se tak dostává až k počtům několika tisíc.

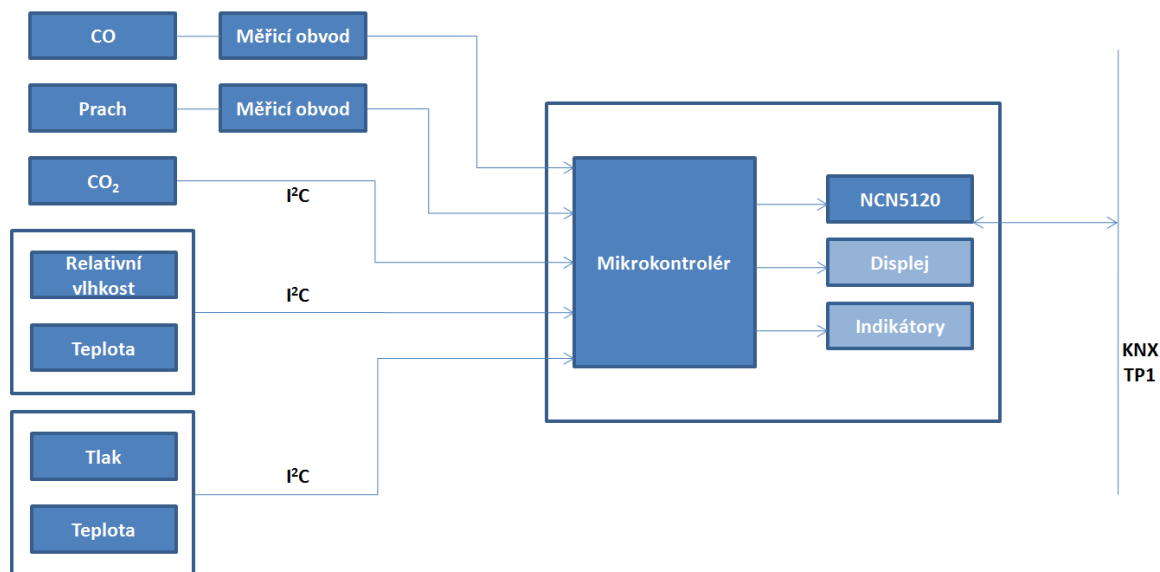
Všechny tyto výrobky lze rozdělit do následujících čtyř hlavních skupin, a to dle jejich funkce:

- Systémové přístroje (napájecí zdroje, zesilovače, liniové a oblastní spojky, USB rozhraní, IP rozhraní)
- Snímače (moduly s měřicími senzory, tlačítka)
- Akční členy (ovladače, spínací akční členy)
- Ostatní (kontrolní panely, logické moduly)

Napájecí zdroje obsahují vestavěné tlumivky a jsou napojeny na síť, tedy 230 V. Na sběrnici pak zajišťují stabilní hodnotu napětí, konkrétně 30 V. Všechny zapojené přístroje však takovéto napětí na svém vstupu mít nemohou, což je způsobeno klesajícím napětím na sběrnici v závislosti na rostoucí vzdálenosti od zdroje. Celková délka vedení může být maximálně 1000 m, přičemž však vzdálenost účastníka od zdroje nesmí přesáhnout 350 m a vzdálenost dvou účastníků mezi sebou může dosahovat nejvíce délky 700 m. Jmenovité napětí sběrnice pak činí 24 V. [45]

6 Návrh jednotky senzorů

Pro měření požadovaných parametrů vnitřního prostředí byly vybrány již výše zmíněné senzory. Pro realizaci všech potřebných nastavení a možnost vyčtení měřených hodnot bylo nutné zvolit určité komunikační médium. Pro tyto účely tedy slouží mikrokontrolér, prostřednictvím kterého je možné nastavit parametry jednotlivých senzorů dle konkrétních požadavků modulu a také provádět sběr naměřených dat v požadovaném formátu. V tomto stavu však zatím není umožněno zasílat data mezi senzory a samotnou KNX sběrnici. Zprostředkovatelem této komunikace je pak KNX čip NCN5120. Schematický návrh jednotky je možné vidět na Obr. 10 níže.

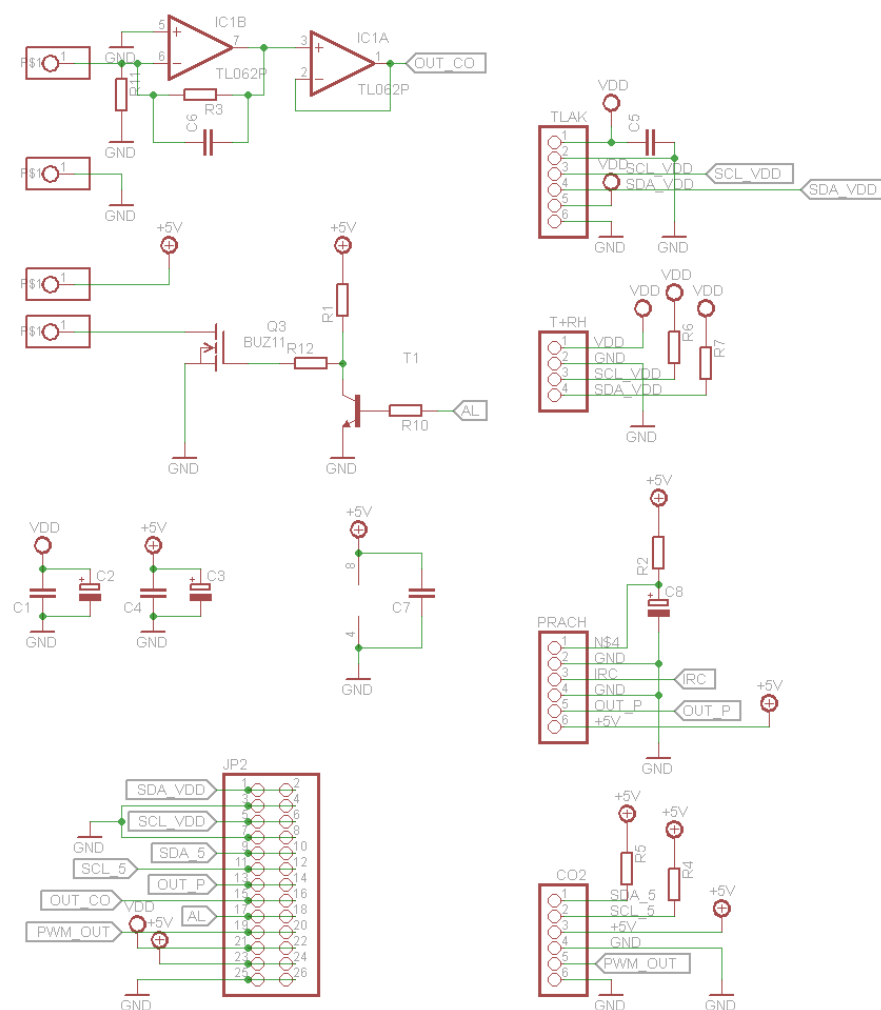


Obr. 10: Blokové schéma jednotky (vlastní)

Součástí návrhu je také deska s jednotlivými senzory. Umožňuje lepší manipulaci i přehlednost celého zapojení a díky konektorům je možné ji také modifikovat z hlediska připojení libovolného výběru z nabízených senzorů. Schéma je možné vidět na Obr. 11 níže. Jednotlivé senzory zde nejsou zapojovány přímo na mikrokontrolér, ale všechny disponují vlastními konektory. Dle jejich rozhraní a použité hodnoty pro napájení jsou rozděleny tak, aby bylo možné je co nejmenším počtem vodičů propojit na jediný společný konektor. Odtud již pak vedou propojovací vodiče přímo na mikrokontrolér.

Oba analogové senzory, tedy TGS5042 pro měření CO a dále také GP2Y1010AU0F pro měření prašnosti, jsou ke společnému konektoru JP2 připojovány samostatně. Senzory vlhkosti a teploty (SHT21) jsou spolu se senzorem tlaku a teploty (BMP280) oba připojeny na napětí 3,3 V, a to přes rozhraní I²C. Z toho důvodu je možné připojit je na společné rozhraní prostřednictvím jednoho páru datového a hodinového signálu. CO₂ snímač T6713 je taktéž schopen komunikovat skrze I²C, avšak hodnota jeho napájení se již liší (5 V) a z toho důvodu je pro něj použito samostatné připojení. Jelikož I²C rozhraní pro svou činnost vyžaduje pull-up rezistory na SDA i SCL signálu, jsou ve schématu také uvedeny. Při společném zapojení je pull-up rezistory nutné zařadit pouze jednou. Z toho důvodu již nejsou uvedeny u tlakového čidla, které je propojeno se senzorem vlhkosti.

Pro měření vlhkosti, tlaku a teploty byly použity senzory, které obsahovaly některé výrobcem doporučené součástky již přímo na vlastní desce. Z toho důvodu již tedy nejsou duplicitně uváděny v následujícím schématu.



Obr. 11: Schéma zapojení desky se senzory (vlastní)

6.1 Rozhraní I²C

I²C, neboli Internal Integrated Circuit, je sériová datová sběrnice, zprostředkovávající datovou komunikaci jednotlivých integrovaných obvodů. Komunikace zde probíhá pouze po dvou vodičích, kterými jsou SDA (pro datový signál) a SCL (pro hodinový signál), což je výhodné zejména u mikrokontrolérů z hlediska snížení nároků na počet využívaných pinů. Každé připojené zařízení musí mít svou vlastní unikátní adresu, pomocí které je možné jej identifikovat a zasílat nebo přijímat od něj data. Přes I²C rozhraní probíhá komunikace obousměrně mezi dvěma a více zařízeními, kde je jedno z nich vždy označeno jako master a ostatní pak jako slave. Master je zařízení, které iniciuje datový přenos a generuje hodinový signál. Slave je poté zařízení, kterému master adresuje příkazy. Existuje však i tzv. multi-master, což znamená připojení více masterů na sběrnici (např. komunikace mezi dvěma mikrokontroléry). V tomto případě je pak nutné zajistit, aby v jeden okamžik řídil komunikaci na sběrnici pouze jeden z nich a to bez přerušení.

SDA i SCL signály musí být připojeny k napájecímu napětí přes pull-up rezistory. Logické úrovně těchto signálů mohou být buď logická 0 nebo logická 1, závisí však na napájecím napětí. Jako nízká (low, L) je tedy označována úroveň 30 % napájecího napětí a jako vysoká (high, H) pak úroveň 70 % téže hodnoty. Ve chvíli, kdy na sběrnici neprobíhá žádná komunikace, jsou oba signály v úrovni H, což zajišťují výše zmíněné pull-up rezistory.

Přenosová rychlost sběrnice je určena pomocí hodinového signálu. Ve standardním módu je to 100 kHz, ve vyšších módech se pak rychlost může zvýšit na 400 kHz nebo až 1 MHz. U novějších verzí rychlosti dosahují až 3,4 MHz.

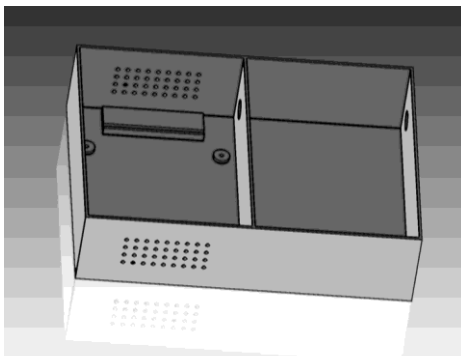
Komunikace a přenos dat probíhá pomocí následujících stavů.

- Stav klidu
Tento stav přichází ve chvíli, kdy neprobíhá žádná komunikace, a oba signály, datový i hodinový, jsou tedy v úrovni logické 1.
- Start bit
Každý přenos začíná start podmínkou, kterou vysílá master. SCL signál je stabilně v úrovni logické 1, zatímco signál SDA přejde z úrovně logické 1 na logickou 0. Od tohoto okamžiku je sběrnice používána a tento stav je označován termínem *busy*.
- Stop bit
Podmínka ukončení je taktéž vysílána masterem. Hodinový signál je zde opět v úrovni logické 1, v průběhu čehož signál SDA přejde z úrovně logické 0 na logickou 1. Po odeslání stop podmínky je sběrnice opět volná.
- Přenos dat
Data jsou přenášena po osmi bitech od nejvyššího (MSB) po nejnižší (LSB), kdy je s každým pulsem hodinového signálu přenesen jeden bit.
- Potvrzující bit ACK/NACK
Potvrzení je vždy vysláno za každým bytem, čímž příjemce dat (receiver) potvrdí odeslateli (transmitter), že přenos proběhl v pořádku. Master vždy generuje osm hodinových pulsů pro přenos dat a devátý pro potvrzovací bit. Během tohoto pulsu odesílatel uvolní SDA, takže příjemce SDA signál změní na logickou 0. V případě, že při přenosu došlo k chybě, bude odeslána logická 1.[20], [46]

Digitální rozhraní I²C je zde použito pro senzory, měřící oxid uhličitý, tlak, vlhkost a teplotu.

6.2 Uložení jednotky

Pro výsledný modul byla v programu Autodesk Inventor navržena krabice pro uložení celého výsledného zařízení. Na Obr. 12 níže je zobrazen její schematický náčrt. Prostup okolního vzduchu k měřicím senzorům zajišťují otvory ve stěně krabice. Na dně se dále nachází montážní otvory pro uchycení desky a také drážka pro upevnění prachového senzoru. Ten je vzhledem ke svým větším rozměrům a pouzdře bez možnosti připájení jako jediný umístěn mimo desku s ostatními senzory. Ve stěně dělicí přepážky se poté nachází otvor pro průchod vodičů, propojujících samotný senzorový modul v jedné části s mikrokontrolérem ve druhé části krabice.



Obr. 12: Návrh krabičky modulu (vlastní)

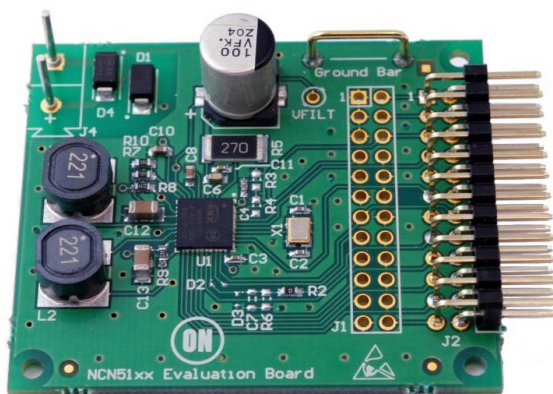
7 Komunikace s KNX

Komunikace Peer to Peer znamená, že jsou si oba uživatelé rovni. Každý z nich může komunikaci iniciovat nebo naopak také vykonat příslušnou operaci dle přijatého požadavku. Díky této decentralizaci tedy vzniká rozdíl oproti systému server–klient. [47] Stejný princip funkce obsahuje také KNX standard. Vzhledem k topologii KNX/EIB systému je proto možné tuto komunikaci také označit jako Peer to Peer. Hierarchie jednotlivých modulů na sběrnici totiž umožňuje, aby byl kterýkoli z prvků schopen vyslat či přijímat data od jiného.

Základním prvkem pro zprostředkování této komunikace je rozhraní NCN5120, které je vhodné pro použití s KNX TP sítí (KNX TP1-256). Podporuje například připojení aktuátorů, snímačů, mikroprocesorů, přepínačů nebo jiných aplikací v budově.

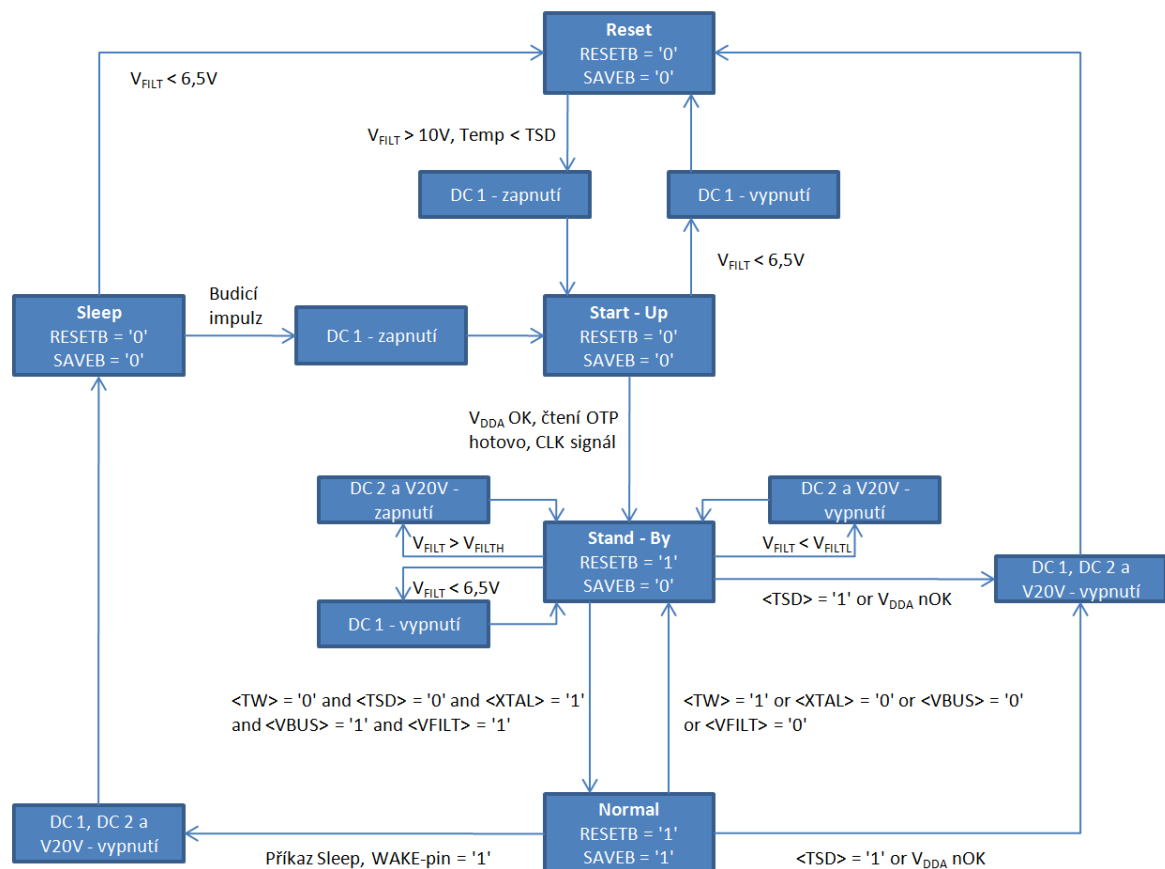
NCN5120 zpracovává vysílání a příjem dat na sběrnici. Z neregulovaného napětí sběrnice se tímto stává stabilizované napětí, které slouží jak pro vlastní napájení, tak i pro napájení externích zařízení, například mikroprocesoru. Monitorování sběrnice zajišťuje, že například v případě přerušení napájení nedojde ke ztrátě dat. Upozornění na tento stav je totiž zasláno mikroprocesoru a je tak zajištěno jejich včasné uložení.

V práci byla použita deska NCN512010GEVB, která již čip NCN5120 obsahuje. Na Obr. 13 níže jsou viditelné jednotlivé konektory modulu. Pro zapojení ke KNX sběrnici slouží standardní Wago konektor, zde označený J4. Konektor J1 a J2 poté umožňuje připojení k pinům pro přenos dat a také pro napájení. [32], [36]



Obr. 13: Modul NCN512010GEVB [36]

Analogový stavový diagram funkce čipu NCN5120 uvádí Obr. 14 níže.



Obr. 14: Analogový stavový diagram NCN5120 ISO/OSI standard [32]

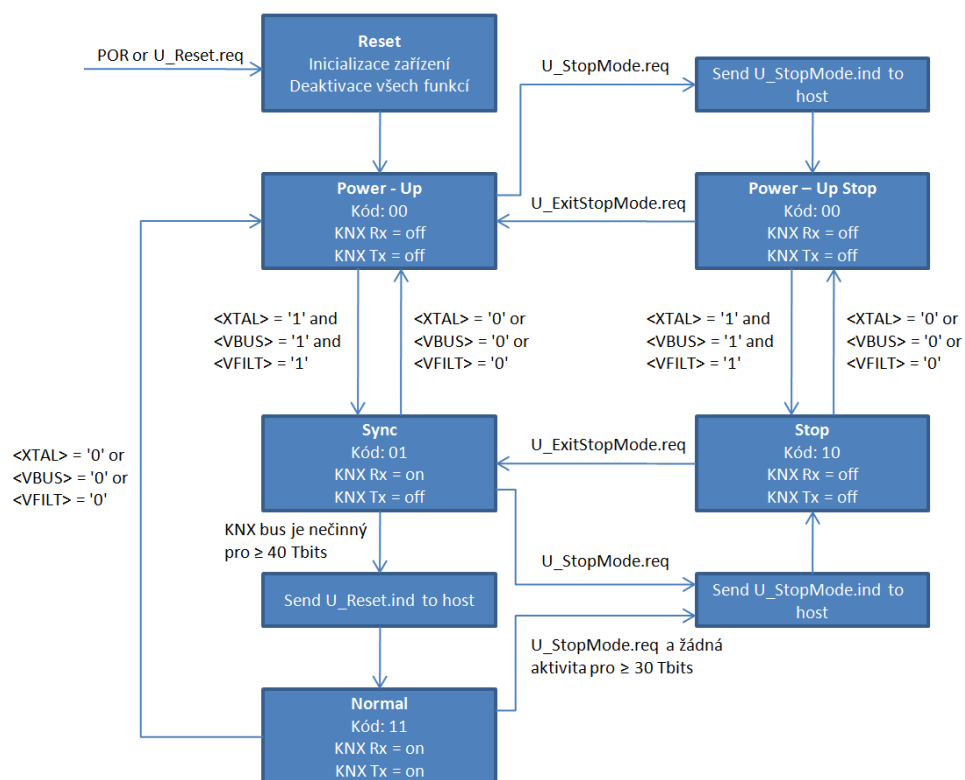
RESETB je digitální výstup čipu představující reset signálu. Při nízké úrovni (logická 0) indikuje stav, kdy je napětí na sběrnici příliš nízké pro normální provoz, a DC-DC převodník nebyl spuštěn. Tento stav může nastat také v případě tepelného vypnutí (Thermal Shutdown – TSD).

RESETB signál rovněž uvádí, zda je komunikace mezi hlavním kontrolérem a NCN5120 možná. Na hodnotu logické nuly se RESETB dostane v případě, kdy se hodnota VFILT sníží pod úroveň 12 V.

Signál SAVEB indikuje, zda proces probíhá správně. Pokud má hodnotu logické nuly, může to znamenat například ztrátu napájení sběrnice, nebo příliš vysokou teplotu. V těchto případech tedy hlavní kontrolér uloží data. Signál SAVEB se dostane na hodnotu logické nuly ihned poté, co se hodnota VFILT sníží pod 14 V, nebo také po uplynutí 2 ms, kdy je hodnota VFILT pod 20 V.

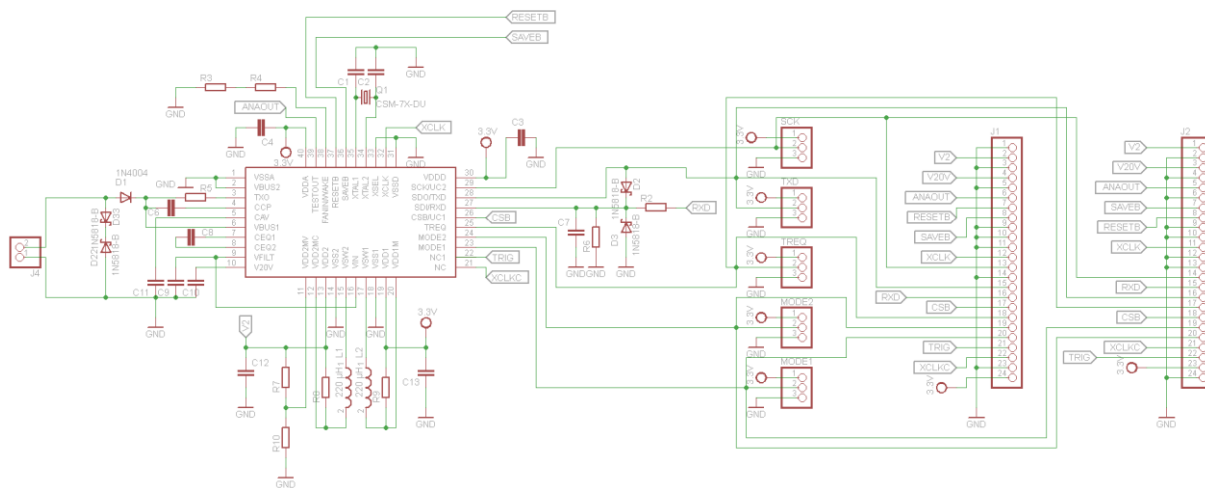
Výstupy RESETB a SAVEB jsou otevřené kolektory s interními pull-up rezistory. VFILT představuje filtrované napětí sběrnice (napětí na filtračním kondenzátoru). [32]

Digitální stavový diagram fungování KNX rozhraní NCN5120 je znázorněn na Obr. 15.



Obr. 15: Digitální stavový diagram NCN5120 [32]

Pro tuto práci bylo rozhraní NCN5120 použito na desce s označením NCN512010GEVB. Kompletní schéma (vytvořené dle vzoru z [32]) je možné vidět níže. Ve větším rozlišení je poté uvedeno také v příloze.



7.1 ISO/OSI model

Referenční model ISO/OSI je mezinárodním standardem pro komunikaci v počítačových sítích. Obsahuje sedm dílčích vrstev, jejichž prostřednictvím jsou implementovány jednotlivé úkoly. Aby spolu tedy mohla dvě zařízení (účastníci komunikace) vzájemně komunikovat, musí obě splňovat zásady ISO/OSI modelu.

Model je složen ze sedmi dílčích vrstev, které jsou popsány v následujících podkapitolách.

7.1.1 Fyzická vrstva

Tato vrstva zajišťuje přenos jednotlivých bitů a jsou zde definovány fyzické signály reprezentující logickou 0 a logickou 1. Vrstva také popisuje parametry jako rychlost přenosu, vlastnosti přenosového média a jiné. Specifikuje tedy fyzickou komunikaci, kdy aktivuje, udržuje a deaktivuje fyzické spoje (např. komutovaný spoj) mezi koncovými systémy. Fyzické spojení může být dvoubodové (sériová linka) nebo mnohobodové (Ethernet). Vrstva dále definuje všechny elektrické a fyzikální vlastnosti zařízení. Obsahuje rozložení pinů, napěťové úrovně a specifikuje vlastnosti kabelů. Hlavní funkcí je zde především navazování a ukončení spojení s komunikačním médiem nebo také spolupráce na efektivním rozložení zdrojů mezi všechny uživatele. Mezi reálné příklady vrstev zde patří také TP1. [48], [49], [50]

7.1.2 Linková (spojová) vrstva

Vrstva nese údaje pro adresování a počátek rámce, který obsahuje také samotné přenášené informace. Tato vrstva tedy zajistí přidání počátku paketu, cílovou a zdrojovou adresu a také délku paketu. Dále následuje samotný paket s daty, který je ukončen kontrolním součtem. Poskytuje spojení mezi dvěma sousedními systémy a uspořádává data z fyzické vrstvy do logických celků známých jako rámce (frames). Tyto přenášené rámce seřazuje, stará se o nastavení parametrů přenosu linky a oznamuje neopravitelné chyby. Vrstva dále zajišťuje formátování fyzického rámce, opatřuje je fyzickou adresou a poskytuje synchronizaci pro fyzickou vrstvu. Na této vrstvě pracují veškeré mosty a přepínače. Poskytuje také propojení pouze mezi místně připojenými zařízeními a vytváří tak doménu na druhé vrstvě pro směrové a všesměrové vysílání. [48], [49], [50]

7.1.3 Síťová vrstva

Síťová vrstva zajišťuje přenos přes mezilehlé systémy překlenutím rozdílných vlastností síťových technologií. Tato vrstva se stará o směrování v síti a síťové adresování. Poskytuje spojení mezi systémy, které spolu přímo nesousedí. Síťová vrstva poskytuje funkce k zajištění přenosu dat různé délky od zdroje k příjemci skrze jednu případně několik vzájemně propojených sítí při zachování kvality služby, kterou požaduje přenosová vrstva. Síťová vrstva poskytuje směrovací funkce a také reportuje o problémech při doručování dat. Veškeré směrovače pracují na této vrstvě a posílají data do jiných sítí. Zde se již pracuje s hierarchickou strukturou adres. Nejznámější protokol pracující na 3. vrstvě je Internetový Protokol (IP). Jednotkou informace je paket. Chtějí-li spolu komunikovat dva uzly počítačové sítě, mezi kterými neexistuje přímé spojení, je nutné pro ně najít alespoň spojení nepřímé – tedy vhodnou cestu, vedoucí přes mezilehlé uzly od jednoho koncového uzlu ke druhému. Možných cest může být samozřejmě více, jedna z nich však musí být vybrána a dále musí být zajištěno také správné předávání dat po této cestě. Všechny tyto úkoly má v referenčním modelu ISO/OSI na starosti síťová vrstva.

Kdykoli transportní vrstva předává vrstvě síťové nějaká data k odeslání, připojuje k nim pouze informaci o tom, kdo má být jejich konečným příjemcem. Pro každý samostatně přenášený blok dat,

který se na úrovni síťové vrstvy označuje jako paket (zatímco na úrovni linkové vrstvy jako rámec) pak musí síťová vrstva rozhodnout, kterým směrem jej má skutečně odeslat. Jakmile toto rozhodnutí učiní, předá příslušný paket vrstvě linkové spolu s údajem o zvoleném směru.

Nejdůležitějším úkolem síťové vrstvy je tedy tzv. směrování (routing), které představuje právě rozhodování o směru odesílání jednotlivých paketů. Síťová vrstva k tomu však potřebuje alespoň základní informace o topologii celé sítě. Konkrétních způsobů směrování, či spíše postupů respektive algoritmů volby vhodného směru přitom existuje celá řada. Od jednoduchých statických metod, které nejsou schopny reagovat na dynamické změny v síti, až po adaptivní metody, které se dokážou přizpůsobit aktuálnímu stavu sítě, jejímu zatížení, případným výpadkům některých uzlů či spojů apod. [48], [49], [50]

7.1.4 Transportní vrstva

Skrze ni se uskutečňuje samotný přenos dat, která jsou po příjmu z relační vrstvy rozložena na pakety a přenášena na síťovou vrstvu. Tato vrstva zajišťuje přenos dat mezi koncovými uzly. Jejím účelem je poskytnout takovou kvalitu přenosu, jakou požadují vyšší vrstvy. Vrstva nabízí například spojově (TCP) a nespojově orientované (UDP) protokoly. Hlavním úkolem transportní vrstvy referenčního modelu ISO/OSI je poskytovat efektivní přenosové služby své bezprostředně vyšší (tj. relační) vrstvě. Tyto služby přitom mohou mít spojovaný (connection oriented) i nespojovaný (connectionless) charakter. Stejný charakter a stejnou podstatu však mají i služby síťové vrstvy, které transportní vrstva sama využívá. Do značné míry analogické jsou v obou vrstvách i mechanismy adresování a řízení toku dat. Komunikace dvou koncových účastníků se transportní vrstva zúčastňuje jen na obou koncových počítačích, zatímco v jednotlivých meziuzlech se na přenosu podílí jen tři nejnižší vrstvy, a to fyzická, linková a síťová. Transportní vrstva je v referenčním modelu ISO/OSI především proto, aby vyšším vrstvám poskytovala kvalitnější přenosové služby, než jaké ve skutečnosti dokáže poskytovat vrstva síťová. Současně s tím pak může uživatele respektive vyšší vrstvy odlišovat od konkrétních specifik používané komunikační podsítě, od její přenosové technologie, a především pak od všech nedokonalostí podsítě. [48], [49], [50]

7.1.5 Relační vrstva

Vrstva koordinuje výměnu dat mezi koncovými aplikacemi a zajišťuje zabezpečení, správné funkce a podobně. Smyslem vrstvy je organizovat a synchronizovat dialog mezi spolupracujícími relačními vrstvami obou systémů a řídit výměnu dat mezi nimi. Umožňuje vytvoření a ukončení relačního spojení, synchronizaci a obnovení spojení, oznamování výjimečných stavů. Do této vrstvy se řadí: NetBIOS, RPC. K paketům přiřazuje synchronizační značky, které využije v případě vrácení paketu (např. z důvodu, že se během přenosu dat poškodí síť) k poskládání původního pořadí.

Jedním z hlavních úkolů relační vrstvy je řízení dialogu mezi oběma koncovými účastníky. Tak jako při telefonním rozhovoru není možné, aby oba účastníci mluvili současně, existují i v počítačových sítích takové aplikace, které vyžadují koordinované střídání obou zúčastněných při vysílání (například různé aplikace transakčního charakteru apod.). [48], [49], [50]

7.1.6 Prezentační vrstva

Prezentační vrstva převede datový formát do takové podoby, která je přístupná pro celou síť. Zabývá se tedy sjednocením struktur dat, kódováním, řazením bitů atd.

Funkcí vrstvy je transformovat data do tvaru, který používají aplikace (šifrování, konvertování, komprimace). Formát dat (datové struktury) se může lišit na obou komunikujících systémech, navíc dochází k transformaci pro účel přenosu dat nižšími vrstvami. Mezi funkce patří

například převod kódů a abeced, modifikace grafického uspořádání, přizpůsobení pořadí bajtů a podobně. Vrstva se zabývá jen strukturou dat, ale ne jejich významem, který je znám jen vrstvě aplikační. [48], [49], [50]

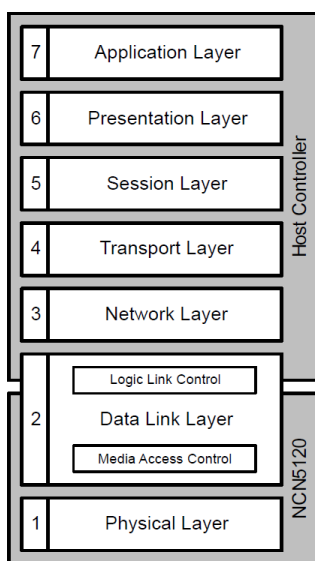
7.1.7 Aplikační vrstva

Jedná se o nejvyšší z vrstev, která poskytuje mimo jiné přenos zpráv, synchronizaci aplikací, dále zahájení, způsob a ukončení dialogu

Účelem vrstvy je poskytnout aplikacím přístup ke komunikačnímu systému a umožnit tak jejich spolupráci. Jde-li o samostatný počítač, jsou aplikacemi jednotlivé uživatelské programy, a zbývající částí programového vybavení je operační systém, který uživatelským programům zprostředkovává využití nejrůznějších zdrojů a prostředků daného počítače, tedy disků, operační paměti, klávesnice, displeje, dalších V/V zařízení apod. V případě uzlů počítačové sítě je pak odlišnost pouze v tom, že síťový operační systém, který v sobě implementuje jednotlivé vrstvy vrstevného síťového modelu, zprostředkovává aplikacím navíc ještě všechno to, co vlastní síť nabízí, tedy především možnost komunikace s aplikacemi, běžícími na jiných uzlových počítačích, případně i přístup k technickým prostředkům jiných uzlových počítačů atd.

7.1.8 Aplikace modelu ISO/OSI na zařízení

Každá ze sedmi vrstev vykonává skupinu jasně definovaných funkcí potřebných pro komunikaci. Pro svou činnost využívá služeb své sousední nižší vrstvy. Své služby pak poskytuje sousední vyšší vrstvě. Na počátku vznikne požadavek některého procesu v aplikační vrstvě. Příslušný podsystém požádá o vytvoření spojení prezentační vrstvou. V rámci aplikační vrstvy je komunikace s protějším systémem řízena aplikačním protokolem. Podsystémy v prezentační vrstvě se dorozumívají prezentačním protokolem. Takto se postupuje stále níže až k fyzické vrstvě, kde se použije pro spojení přenosové prostředí. Současně se při přechodu z vyšší vrstvy k nižší přidávají k uživatelským (aplikačním) datům záhlaví jednotlivých vrstev. Tak dochází k postupnému zapouzdřování původní informace. U příjemce se postupně zpracovávají řídicí informace jednotlivých vrstev a vykonávají jejich funkce. Při komunikaci však není vždy nutné implementovat všechny vrstvy. V rámci KNX/EIB jsou použity pouze vrstvy 1,2,3,4 a 7. Na Obr. 17 níže je znázorněn ISO/OSI model při použití KNX čipu NCN5120. [48], [49], [50]



Obr. 17: Znázornění funkce modulu z hlediska ISO/OSI [32]

Na úrovni fyzické vrstvy je výsledné zařízení kompatibilní se standardem KNX, čemuž odpovídá komunikace o dané rychlosti přenosu a další parametry, včetně možnosti napájení celého zařízení ze sběrnice KNX. Aby byl zajištěn spolehlivý provoz, musí být na vstupních svorkách minimální napětí 21 V. Při této hodnotě je pak proudový odběr menší než 25 mA, což navržený modul splňuje.

Zařízení je na úrovni linkové vrstvy schopné komunikovat Peer to Peer s jiným zařízením, a to tím způsobem, že je paket adresován dalšímu fyzickému zařízení po síti přes individuální adresy. Dalším způsobem je také komunikace prostřednictvím multicastu s mnoha zařízeními, přičemž jsou využívány skupinové adresy. Zařízení v současné době neodporuje vyšší vrstvy KNX, tudíž je nutné jej parametrizovat přímo, prostřednictvím kódu. Řešení z prostředí ETS tedy není realizováno.

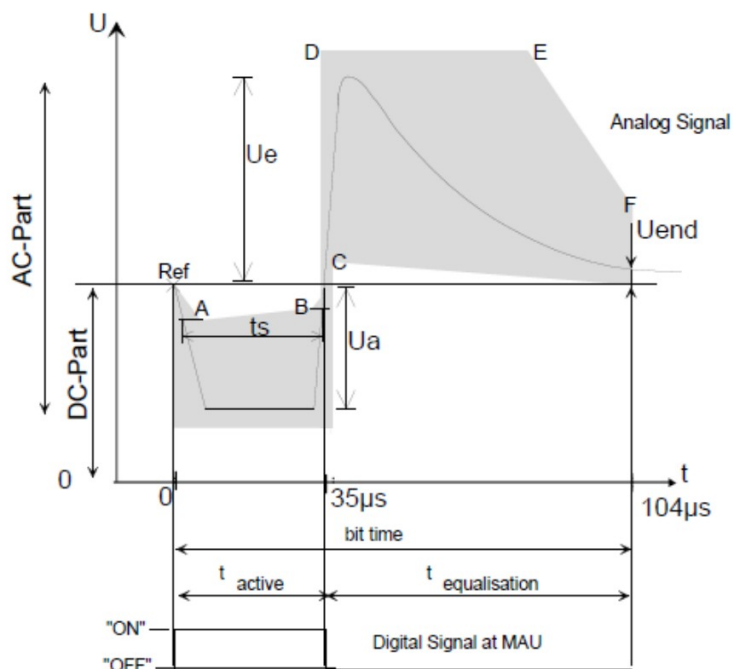
Základní a zároveň nejnižší úroveň hierarchické topologické struktury v systému KNX představuje tzv. linii, která může být prakticky kladena libovolným způsobem odvozeným z počítačové topologie sítí. Lze tedy kombinovat sběrnice, hvězdicové nebo stromové uspořádání. Při kombinaci však nesmí vzniknout kruhová topologie možným uzavřením smyčky. Na jednotlivou linii je možno připojit až 64 účastníků (senzorů, aktuátorů), musí však být opatřena vlastním napájecím zdrojem PSU – Power Supply Unit (NZ), který by se měl nacházet v místě s nejvyšším odběrem, tedy většinou přibližně uprostřed délky vedení. Aktuální počet účastníků v liniích závisí na adekvátním výběru napájecího zdroje a také na proudové spotřebě jednotlivých účastníků. Napájecí zdroje jsou poté rozděleny dle jmenovitého výstupního proudu (160, 320, 640 a 1280 mA). Každá linie, ať už se jedná o základní, hlavní či páteřní, vyžaduje napájecí zdroj s tlumivkou. Ten samozřejmě poskytuje stejnosměrné napětí pro činnost všech účastníků v dané linii. Integrovaná tlumivka je použita z bezpečnostních důvodů, kdy brání průchodu signálů (telegramů) do napájecího zdroje, čímž je odstraněno možné negativní ovlivňování samotným napájecím zdrojem. Mnohé jednotky napájecích zdrojů mají přímo integrovanou tlumivku, existují však i varianty kdy je vyžadována externí tlumivka. Mimo centrální napájecí zdroje je možné do instalace nasadit tzv. DPSU – Decentralised Power Supply Unit, tj. necentrální napájecí zdroje s integrovanou tlumivkou. DPSU existují v různých variantách dle výstupního proudu (25, 40 a 80 mA) a mohou být součástí určitého účastníka (funkci lze deaktivovat), či se jedná o samostatné zařízení. Nasazení DPSU je vhodné zejména v obzvláště malých instalacích integrujících malý počet účastníků. Pro zachování optimální komunikace může být na sběrnici v rámci linie umístěno až 8 DPSU a je dovoleno je kombinovat se standardní centrální napájecí jednotkou za podmínky, že maximální zkratový proud těchto přístrojů nepřekročí 3 A. Na instalaci DPSU se nevztahuje požadavek pro minimální vzdálenost 200 m mezi dvěma zdroji, respektive mezi DPSU a PSU jako je tomu u centrálních napájecích zdrojů.

Připojovací jednotka média (MAU) rozděluje analogový signál média na část DC a sériový tok bitů. Naopak se sériový tok bitů převádí na analogový signál sběrnice. Část DC lze použít vnitřně k napájení zařízení pomocí převodníku DC/DC nebo regulátoru napětí. Chybně připojená MAU nesmí ani poškodit zařízení, ani ovlivnit komunikaci sběrnice.

Ve fyzickém segmentu musí být splněny určité požadavky. První podmínkou na každém zařízení v instalovaném systému je nejméně 21 V DC napětí. Zařízení musí dále pracovat s DC napětím až 20 V. Rozdíl mezi 20 V a 21 V byl stanoven jako rezerva. Zpoždění šířením sériového toku bitů v MAU musí být dostatečně krátké, aby umožnilo bitové posouzení CSMA/CA během doby bitu. Celkové zpoždění (MAU – kabel – MAU) nesmí překročit 12 μ s. Napájecí zdroj(e) (PSU) připojené k fyzickému segmentu musí dodávat nutný efektivní proud vyžadovaný zařízeními připojenými k fyzickému segmentu. Požadavky SELV musí být splněny podle EN 50090-2-2.

V rámci fyzické vrstvy se pro vyhodnocování úrovní vysílaných a přijímaných signálů používá referenční napětí $U_{Ref DC}$ části sběrnice (viz obr níže), které je vzorkováno před spouštěcím

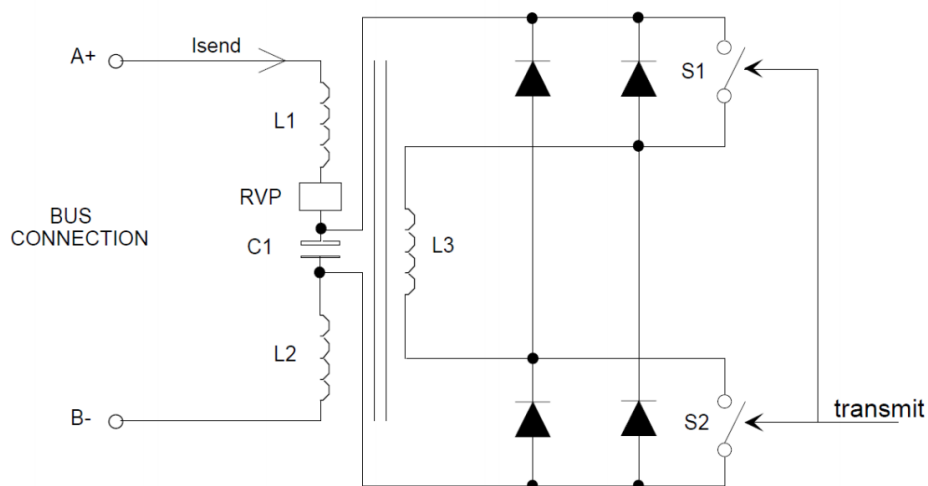
bitem bytu. Logická 1 je na sběrnici považována za klidový stav, kdy musí být vysílač MAU (Medium Attachment Unit neboli jednotka připojení k médiu) blokován. Logická 0 poté představuje pokles napětí analogového signálu sběrnice po dobu t . Poté následuje vyrovnávací doba, kdy může být napětí na sběrnici vyšší než DC část, aby se doplnila energie spotřebované během aktivní části. Graf se musí nacházet ve stínovaných oblastech obrázku (Obr. 18). [48]



Obr. 18: Rámec bitu logické 0 [48]

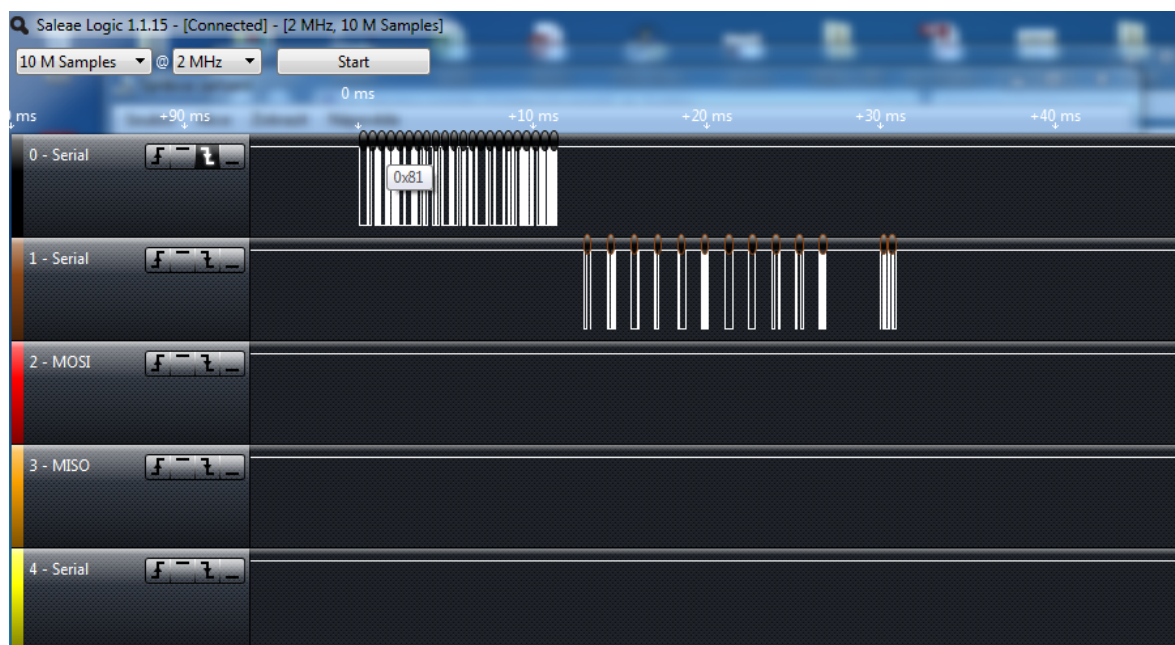
MAU převádí analogový signál na digitální signál pomocí funkce přijímače (ČSN EN 50090-5-2). Požadovaná mezní napětí pro přijímač jsou uvedena v ČSN EN 50090-5-2. Vztah ZAPNUTO/VYPNUTO a napětí sběrnice jsou vysvětleny v ČSN EN 50090-5-2.

Logická jednotka převádí rámcové datové bity na asynchronní časovaný sériový signál. Tento signál se používá pro řízení vysílače MAU. Jednotka dekódování bitů MAU používá přijímací časové okénko. Začátek přijímacího časového okénka je definován ve vztahu ke spouštěcímu bitu. Kromě toho je stanovena minimální a maximální doba impulsu. Fyzická vrstva musí zaručit, že vysílání logické 0 převažuje nad současným vysíláním logické 1. Musí rovněž zaručit, že během současného vysílání bitů se stejnou hodnotou několika zařízeními odpovídá výsledný fyzický signál stejné logické hodnotě vyslaného bitu. Toto chování fyzické vrstvy umožňuje přístup k médiu CSMA/CA ve vrstvě datových spojů. Výstupní signál přijímače, pokládáný za digitální signál, je dekódován na sériový tok bitů jednotkou dekódování bitů MAU (ČSN EN 50090-5-2). [48]

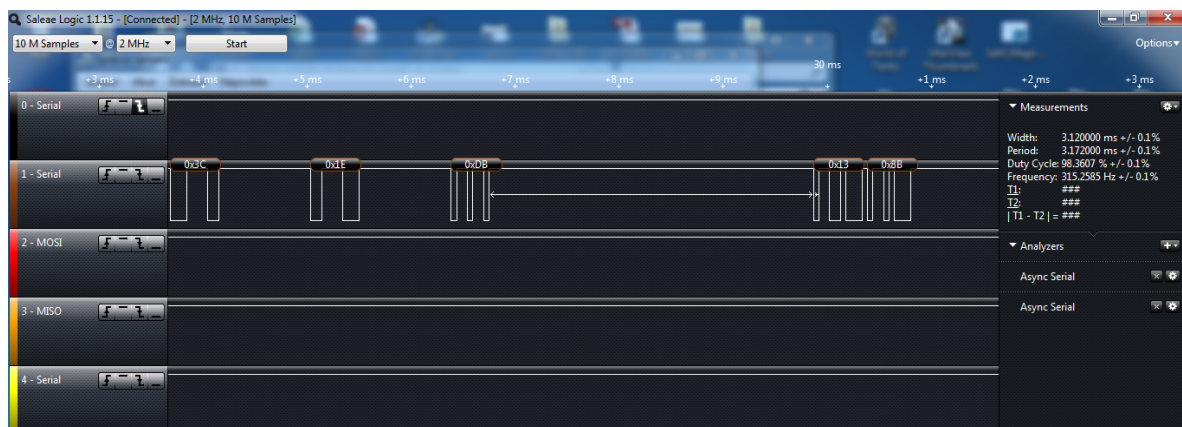


Obr. 19: Náhradní schéma vysílače TP64 [48]

Při testování komunikace s KNX sběrnici bylo provedeno ověření průběhu této komunikace s pomocí logického analyzátoru. Z průběhu bylo možné porovnat reálné datové signály s teoretickými předpoklady tohoto procesu. Na Obr. 20 je možné vidět nejprve signál, který byl vyslán směrem ke KNX. Následně byl jako odpověď přijat druhý signál, obsahující požadovaná data. Obr. 21 pak detailně zobrazuje signál odpovědi s odpovídající časovou prodlevou.



Obr. 20: Test komunikace přes logický analyzátor (vlastní)

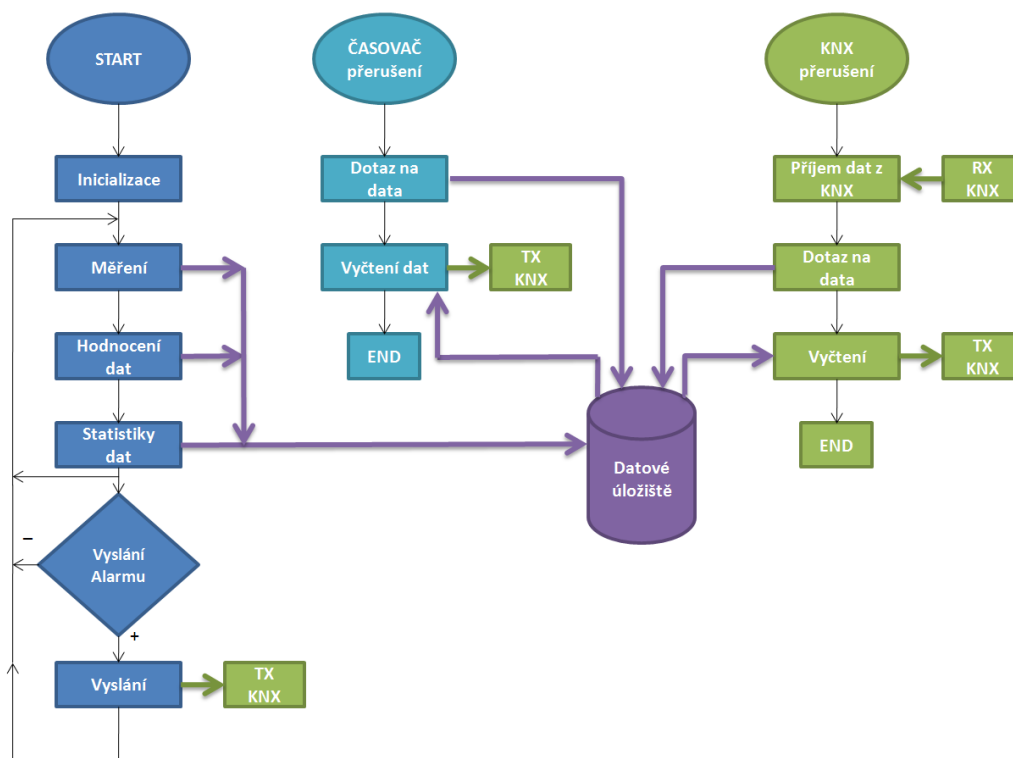


Obr. 21: Test komunikace přes logický analyzátor (vlastní)

8 Senzorový modul

Funkci výsledného senzorového modulu popisuje následující stavový diagram Obr. 22. Po uživatelském spuštění modulu jeho připojením k napájení, probíhá nejprve inicializace celého procesu. V této fázi jsou v programu nastavovány používané periferie, tedy povolení připojení k jednotlivým pinům na mikrokontroléru. Zároveň u digitálních senzorů probíhá zápis do registrů, zajišťující požadovaná nastavení komunikace a sběru dat. Následuje měření jednotlivých parametrů, jejichž hodnoty se pomocí sériové linky jednak ukládají do příslušného souboru, ale především jsou odesílány skrze NCN5120 čip na KNX sběrnici. Sběr dat umožňuje jejich následné zpracování, ze kterého lze dále vyvodit statistické výsledky. Ty mohou být použity k hodnocení vnitřního prostředí budov, a to především z dlouhodobého hlediska. Okamžité hodnocení naměřených parametrů pak slouží hlavně pro význam alarmu, který může signalizovat například překročení povolených hodnot.

Vstup do procesu může být uskutečněn také ze strany časovače přerušení. Tato část je realizována prostřednictvím vnitřního oscilátoru, jež je součástí mikrokontroléru. Díky tomuto krystalu bylo možné nastavit průběžné zasilání dat s určitou periodou, kterou je možné z pozice uživatele měnit. Zásah do běhu programu a měření může přijít také ze strany KNX.



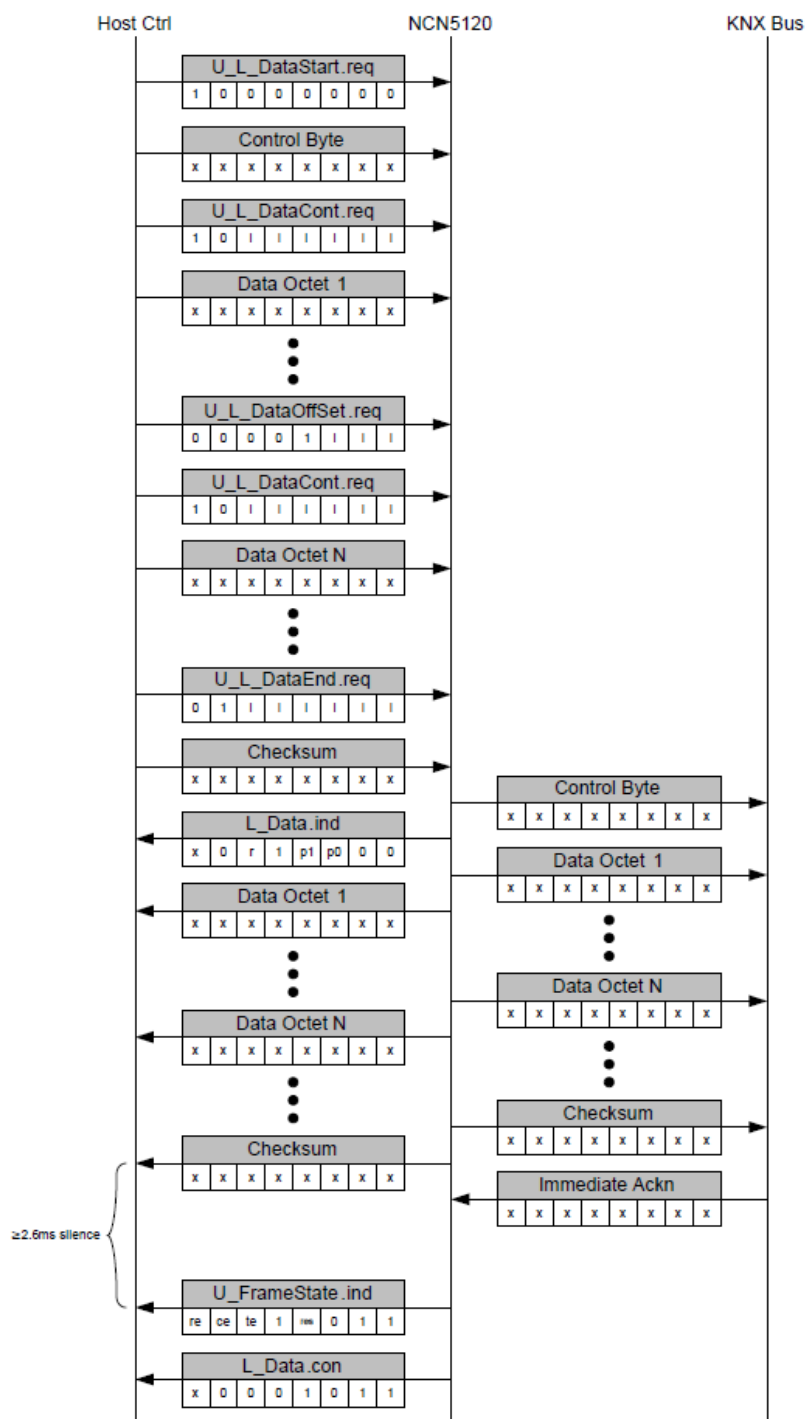
Obr. 22: Stavový diagram komunikace s KNX (vlastní)

Komunikace prostřednictvím KNX čipu probíhá na základě diagramu zobrazeného níže (Obr. 23). Mód rozhraní zde byl zvolen jako 8bitový UART s přenosovou rychlostí 19200 Hz.

Zasílání dat skrze KNX sběrnici začíná funkcí `U_L_DataStart.req`, která se používá ke spuštění přenosu nového datového rámce. Byte, který následuje po vyslání požadavku, je řídicím bytem KNX telegramu. Další byty jsou poté sestaveny pomocí funkce `U_L_DataCont.req`. Data octet pak představuje datový byte KNX telegramu a jeho pořadí je určeno indexem předchozí funkce. Byty je v rámci KNX komunikace dovoleno přenášet v libovolném pořadí a je možné je také prepisovat, a to způsobem opakovaného zápisu do stejného indexu.

U_L_DataEnd.req je funkce, která slouží k ukončení datového rámce a spuštění KNX přenosu. Následuje kontrolní součet, který musí mít při výpočtu totožnou hodnotu s kontrolním součtem, které přijalo zařízení. Jsou-li hodnoty totožné, je na KNX sběrnici spuštěn přenos. V opačném případě zařízení vrátí mikrokontroléru zprávu U_State.ind, jako chybový příznak.

U_DataOffset.req poskytuje 3 MSB bity datového bytu. Hodnota je interně uložena až do doby, než je k dispozici nový offset. Každý datový paket odeslaný na KNX sběrnici je přeposlán také zpět na mikrokontrolér. Ukončení vysílání je realizováno pomocí funkce L_Data.con, jejíž MSB bit indikuje, zda bylo přijato potvrzení (Acknowledgment) či nikoli. [32]



Obr. 23: Komunikace prostřednictvím NCN5120 [32]

8.1 Mikrokontrolér Stellaris

Mikrokontrolér LM4F120H5QR od firmy Texas Instruments je ekvivalentem desky TM4C1233H6PM, pojmenované novým názvoslovím výrobků. Obsahuje 32bitové jádro ARM Cortex M4F, mikro USB konektor, programovatelná tlačítka a také RGB LED diodu pro uživatelské aplikace. Dále disponuje řadou pinových konektorů, umožňujících připojení k dalším perifériím.

Deska vyžaduje napájení od 4,75 V do 5,25 V, což je realizováno přes mikro USB kabel z počítače. Pro další připojitelná zařízení nabízí dva výstupy s napájecím napětím o hodnotách 3,3 V a 5 V. Mikrokontrolér také obsahuje 16 MHz krystalový oscilátor, který slouží jako generátor hodinového signálu.

LM4F120H5QR nabízí čtyři konektory, značené J1 až J4, z nichž každý obsahuje deset pinů. Tyto jsou rozčleněny na jednotlivé porty a až F a umožňují připojení na dva 12bitové A/D převodníky, šest rozhraní I2C, osm rozhraní UART, čtyři rozhraní SSI/SPI a další.

Mikrokontrolér poskytuje možnost připojení dalších zařízení k jednotlivým pinům. Pro tuto aplikaci jsou využívány piny pro napájení, uzemnění a připojení senzorů, jejichž výstup je buďto digitální nebo analogový. [38], [42]

Jednotlivými použitými periferiemi jsou tedy následující:

- Napájení senzorů:
K tomuto účelu slouží v pinové řadě J1 pin pro připojení k napětí 3,3 V, a poté v řadě J3 také pin VBUS, poskytující napětí 5 V.
- Uzemnění:
Propojení zemí z jednotlivých senzorů je zajištěno jejich připojením na pin mikrokontroléru, značený jako GND.
- Sensory s digitálním výstupem:
Tyto senzory jsou připojeny na piny, poskytující I²C rozhraní. Dle hodnoty napájecího napětí, které jednotlivé senzory požadují, bylo jejich připojení rozděleno. Senzor teploty a vlhkosti SHT21, spolu se senzorem teploty a tlaku BMP280, jsou napájeny napětím o hodnotě 3,3 V a jejich připojení k mikrokontroléru je realizováno prostřednictvím portu E. Pro SDA signál je využíván pin PE5 a pro SCL signál se poté jedná o pin PE4. Senzor oxidu uhličitého T6713 je připojen k napětí 5 V a jeho I²C rozhraní je realizováno pomocí portu B, kde pin PB2 slouží pro připojení signálu SCL a PB3 pak pro signál SDA.
- Sensory s analogovým výstupem:
Tyto senzory, jejichž výstupem je určitý napěťový signál, je nutné na mikrokontroléru připojit k A/D převodníku.

8.2 Vývojové prostředí CCS

Code Composer Studio (CCS) je integrované vývojové prostředí, které podporuje mikrokontroléry firmy Texas Instruments. Obsahuje řadu nástrojů používaných k vývoji a ladění integrovaných aplikací, jako například optimalizaci kompilátoru C/C++, editor zdrojového kódu, debugger a další funkce. CCS obsahuje řadu knihoven, nabízejících specifické předdefinované funkce. Pro správnou funkci programu a zajištění přístupu ke všem dostupným knihovnám je nezbytné nainstalovat nejen samotné CCS, ale také sadu softwarových nástrojů TivaWare, jejíž výběr závisí na konkrétním používaném procesoru. Jsou zde zahrnuty veškeré knihovny, příklady kódů a také související dokumentace. [51], [52]

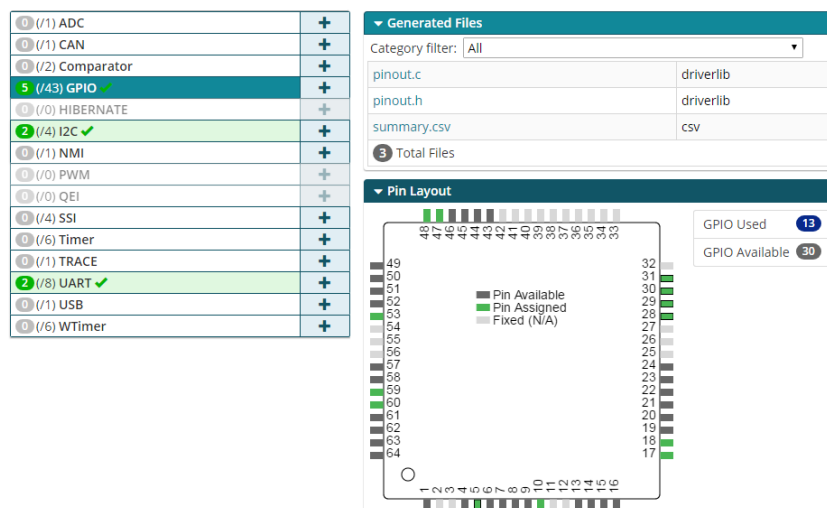
Zároveň s vytvořením nového projektu je nutné provést nastavení používaného mikrokontroléru, a to výběrem z uvedených zařízení Texas Instruments. Aby bylo později možné kód

zkompilovat, vyžaduje program nastavení umístění zdrojových dat (knihoven). Provádí se prostřednictvím Properties, kde lze ve složce Include Options a podsložce ARM Compiler nalézt okno pro volbu cesty ke složce driverlib. Zároveň je nutné přidat příslušné soubory také do ARM Linker/File Search Path. Podrobné informace o způsobu použití knihoven jsou dostupné z webu Texas Instruments Wiki, nebo také z dokumentu [53].

Prostředí CCS nabízí také spuštění online podpory v podobě okna Resource Explorer. V jeho složkách, řazených hierarchicky dle použitého procesoru a konkrétního typu mikrokontroléru, lze nalézt řadu vzorových kódů a také dostupné knihovny. Veškeré dokumenty je z vyhledávače možné stáhnout a dále začlenit a pracovat s nimi v rámci vlastního CCS projektu.

8.3 Aplikační software

Pro správnou funkci dalších periférií prostřednictvím mikrokontroléru je tedy nutné je připojit k odpovídajícím pinům, jejichž popis je podrobně rozebrán v dokumentaci. Samotné propojení však není pro komunikaci dostačující, jelikož použití jednotlivých pinů musí být povoleno také softwarově. Veškeré informace, potřebné k tomuto nastavení, obsahuje výše zmíněný dokument. Společnost Texas Instruments však nabízí možnost tento proces výrazně urychlit a zjednodušit. Jedná se o aplikaci TI PinMux, kterou je možno použít na všechny TI zařízení. Po zvolení požadovaného mikrokontroléru je uživateli zobrazen náčrt desky a seznam periférií, u kterých lze přidávat či odebírat jednotlivě každý pin. Prostředí aplikace je možné vidět na Obr. 24 níže.



Obr. 24: Prostředí aplikace TI PinMux (vlastní)

Každý nastavený pin je ve schématu mikrokontroléru i v seznamu periférií ihned barevně vyznačen, což zajišťuje snadnější orientaci a přehlednost. Po dokončení všech nastavení jsou automaticky vygenerovány soubory, které je již nutné pouze uložit do příslušné složky spolu s CCS projektem.

Texas Instruments podporuje také samotnou práci v prostředí CCS. Uživatelská příručka TivaWare™ Peripheral Driver Library nabízí přehledné rozdělení oblastí pro používání mikrokontroléru a detailní popis konkrétních funkcí. U jednotlivých případů jsou také vždy uvedeny příslušné knihovny, které dané funkce obsahují. [39]

Při vytvoření nového CCS projektu je automaticky vygenerován zdrojový soubor *main.c*. Zde je nutné vložit veškeré dále používané hlavičkové soubory pomocí příkazu *#include*. Jedná se tedy o všechny používané knihovny, ale také o již výše zmíněný soubor s nastavením jednotlivých pinů.

V hlavní funkci programu *main()* jsou poté volány všechny ostatní funkce, které mají být provedeny. Komunikace s jednotlivými senzory byla řešena pomocí samostatných funkcí, které budou stručně popsány níže.

Senzor vlhkosti a teploty:

- *void SHT21_Reset(uint32_t I2CBase);*
 - resetování
- *float SHT21_Temp_Rec(uint32_t I2CBase);*
 - vyčtení hodnoty teploty
- *float SHT21_RH_Rec(uint32_t I2CBase);*
 - vyčtení hodnoty vlhkosti

Pro senzor teploty a tlaku byly použity následující funkce:

- *int BMP280_ID(uint32_t I2CBase)*
 - určení identifikačního čísla senzoru
- *int BMP280_Reset(uint32_t I2CBase)*
 - resetování
- *int BMP280_Status(uint32_t I2CBase)*
 - vyčtení stavu zařízení
- *int BMP280_Ctrl_meas(uint32_t I2CBase)*
 - nastavení parametrů pro sběr dat
- *int BMP280_Config(uint32_t I2CBase)*
 - nastavení filtrace, časové prodlevy a rozhraní
- *int BMP280_Press_MSB(uint32_t I2CBase)*
int BMP280_Press_LSB(uint32_t I2CBase)
int BMP280_Press_XLSB(uint32_t I2CBase)
 - vyčtení „hrubé“ hodnoty tlaku
- *int BMP280_Temp_MSB(uint32_t I2CBase)*
int BMP280_Temp_LSB(uint32_t I2CBase)
int BMP280_Temp_XLSB(uint32_t I2CBase)
 - vyčtení „hrubé“ hodnoty teploty

Senzor oxidu uhličitého:

- *int T6700_FW (uint32_t I2CBase);*
 - vyčtení aktuálního firmwaru
- *int T6700_Status (uint32_t I2CBase);*
 - vyčtení stavů v rámci různých funkcí
- *int T6700_PPM (uint32_t I2CBase);*
 - vyčtení hodnoty koncentrace oxidu uhličitého v jednotkách ppm
- *int T6700_Reset (uint32_t I2CBase);*
 - resetování
- *int T6700_SSPC(uint32_t I2CBase, int SSPC_Stat);*
int T6700_SSPC_ON(uint32_t I2CBase);
int T6700_SSPC_OFF(uint32_t I2CBase);
 - spuštění a zastavení kalibračního procesu
- *int T6700_SlaveA(uint32_t I2CBase, uint32_t i2c_adr);*
 - změna adresy zařízení
- *int T6700_ABC(uint32_t I2CBase, int ABC_Stat);*

```
int T6700_ABC_ON(uint32_t I2CBase);
int T6700_ABC_OFF(uint32_t I2CBase);
    ○ spuštění a zastavení samo-kalibrace
```

8.3.1 Měření teploty a relativní vlhkosti

Senzor byl připojen přes následující piny:

- VCC (VIN): pin pro připojení k napájecímu napětí. Z doporučeného rozmezí 2,1 až 3,6 V byla vzhledem k možnostem mikrokontroléru a ostatním senzorům zvolena hodnota 3,3 V.
- GND: propojení se zemí mikrokontroléru.
- SCL (Serial Clock): hodinový signál pro synchronizaci komunikace mezi mikrokontrolérem a senzorem. S mikrokontrolérem je propojen prostřednictvím pinu PE4.
- SDA (Serial Data): datový signál propojený s pinem PE5 na mikrokontroléru. Při komunikaci se senzorem je pro přístup k datovému signálu vyžadována náběžná hrana hodinového signálu. Zatímco je hodinový signál na úrovni logické 1, musí zůstat SDA stabilní. Za sestupnou hranou SCL signálu je možné SDA opět změnit.

Po připojení senzoru k mikrokontroléru a jeho zapnutí, je vyžadováno až 15 ms, než bude senzor schopen reagovat. Spotřeba proudu je během této doby maximálně 350 μ A. Každá sekvence zasilání dat vyžaduje určení počátku a konce. Podmínku startu vysílá mikrokontrolér (tedy master) a jedná se o sestupnou hranu SDA signálu, zatímco je signál SCL na úrovni logické 1. Sběrnice je tímto obsazena (busy) až do chvíle vyslání stop podmínky, kterou představuje náběžná hrana SDA signálu při úrovni SCL v logické 1. Na výstupu pinů SCL a SDA jsou vyžadovány pull-up rezistory.

Data, naměřená ze senzoru SHT21, mají podobu dvou osmibitových paketů. V tomto tvaru se však jedná o tzv. hrubá data, která je nutné převést na požadované hodnoty. K tomuto účelu slouží následující vzorce, které ovšem platí pouze za předpokladu nastavení dvanáctibitového rozlišení pro relativní vlhkost a čtrnáctibitového rozlišení pro teplotu. Procentuální hodnotu relativní vlhkosti je možné vypočítat z rovnice (1).

$$RH = -6 + 125 \cdot \frac{S_{RH}}{2^{16}} \quad (1)$$

Parametr S_{RH} zde představuje výstupní hodnotu relativní vlhkosti ze senzoru. Analogicky je pak značen výstupní parametr S_T pro teplotu, který udává výsledek ve stupních Celsia (2).

$$T = -46,85 + 175,72 \cdot \frac{S_T}{2^{16}} \quad (2)$$

Pro komunikaci mikrokontroléru se senzory byl použit dokument TivaWare Peripheral Driver Library od firmy Texas Instruments, ve kterém jsou popsány jednotlivé funkce z příslušných knihoven, které je možné použít.

Kalibrace teplotního čidla a vlhkoměru se provádí pomocí referenčního měřidla. Pro kombinovaný senzor teploty a vlhkosti s přesností měření $\pm 0,3$ °C a ± 2 % RH se opakování kalibrace doporučuje provádět jednou ročně.

8.3.2 Měření teploty a tlaku

Senzor disponuje šesti piny, jejichž popis a zapojení je následující:

- VCC: pin pro připojení k napájecímu napětí. Výrobce udává možné hodnoty v rozmezí 1,71 až 3,6 V. S ohledem na možnosti mikrokontroléru a ostatní použité senzory bylo zvoleno napájecí napětí 3,3 V.
- GND: propojení se zemí mikrokontroléru.

- SCL: hodinový signál, propojený s pinem PE4 na mikrokontroléru.
- SDA: datový signál, propojený s pinem PE5 na mikrokontroléru.
- CSB: umožňuje výběr rozhraní, tedy zda bude komunikace probíhat přes SPI nebo I²C. Pro volbu rozhraní I²C je nutné pin CSB propojit s pinem pro napájení (VCC).
- SDO: umožňuje nastavení 7bitové adresy zařízení, přesněji posledního bitu. 6 MSB je dáno fixně, jako 111011x. V tomto případě bylo SDO připojeno na GND a výsledná adresa je tedy 1110110 (0x76). Druhou variantou by bylo připojení na VCC, kdy by se pak adresa změnila na 1110111 (0x77).

Z předdefinovaných nastavení byl vybrán způsob použití v interiéru, s doporučením normálního módu a nejvyššího rozlišení. V normálním režimu probíhá měření v cyklech, kdy se střídá aktivní perioda s periodou neaktivní (standby). Délka neaktivní fáze je nastavitelná v hodnotách od 0,5 ms až do 4000 ms. Pro tuto aplikaci byla zvolena nejnižší možná hodnota.

Komunikace se senzorem probíhá skrze 8bitové registry. Některé z nich jsou již rezervovány a není tedy možné do nich zapisovat. Z registrů určených ke čtení je možné zjistit například identifikační číslo čipu, jeho stav (zda právě probíhá měření), kalibrační data a především měřené parametry. Data pro teplotu i tlak jsou čtena ve 20bitovém formátu a jsou zapisována do tří registrů jako MSB (nejvíce významný bit), LSB (nejméně významný bit) a XLSB (závisí na nastaveném rozlišení). Pro nastavení veškerých požadovaných parametrů se používají registry „ctrl_meas“ a „config“. První z nich umožňuje nastavení nevzorkování teplotních i tlakových dat, a také použitého módu. Registr „config“ poté slouží k určení délky neaktivní doby senzoru (standby), koeficientu filtru a případnému nastavení komunikace přes SPI rozhraní (které zde ovšem není použito).

Pro čtení dat ze senzoru a kompenzaci naměřených hodnot výrobce doporučuje použití aplikačního listu BMP280 API. Jelikož jsou výstupní data senzoru výstupem z A/D převodníku, je nutné je upravit kalibračními parametry. Pro teplotní kompenzaci jsou určeny 16bitové hodnoty dig_T1 až dig_T3 a pro tlakové poté dig_P1 až dig_P9. Vzorový kód s kompenzačními výpočty je uveden v dokumentaci.

Zápis přes I²C začíná zasláním adresy senzoru (slave adress) v režimu zápisu. Následně zašle mikrokontrolér (master) adresy příslušných registrů a samotná data. Přenos je poté ukončen pomocí stop podmínky. Čtení dat prostřednictvím I²C vyžaduje zaslání adresy zařízení v režimu zápisu. Poté je možné volit mezi stop podmínkou a podmínkou opakovaného startu pro další data. Zařízení pak tedy začne vysílat data a pokračuje až do chvíle, kdy je opět poslána stop podmínka.

Kalibrace tlakového čidla se provádí pomocí referenčního měřidla. Pro kombinovaný senzor teploty a vlhkosti s přesností měření $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $\pm 2\text{ \% RH}$ se opakování kalibrace doporučuje provádět jednou ročně.

8.3.3 Měření oxidu uhličitého

Pro započítí měření na senzoru je nutné nejprve vyčkat nejméně dvě minuty pro dosažení operační přesnosti, ideálně by však tato prodleva měla být až deset minut, což zajistí plnou přesnost měření.

Rozhraní pro připojení senzoru představuje šest pinů.

- TX/SDA: datový signál, propojený s pinem PB3 na mikrokontroléru. Signál SDA již obsahuje interní pull-up rezistor.
- RX/SCL: hodinový signál, propojený s pinem PB2 na mikrokontroléru. Na výstup hodinového signálu je nutné připojit pull-up rezistor o velikosti 4,7 k Ω .

- VCC: pin pro připojení k napájecímu napětí. Výrobce udává možné hodnoty v rozmezí 4,5 až 5,5 V. Byla tedy zvolena hodnota 5 V, kterou disponuje pin VBUS na mikrokontroléru.
- GND: propojení se zemí mikrokontroléru.
- PWM: v tomto zapojení není využíváno.
- CTRL/TEST: v důsledku použití I²C rozhraní je tento pin uzemněn.

9 Experimentální měření

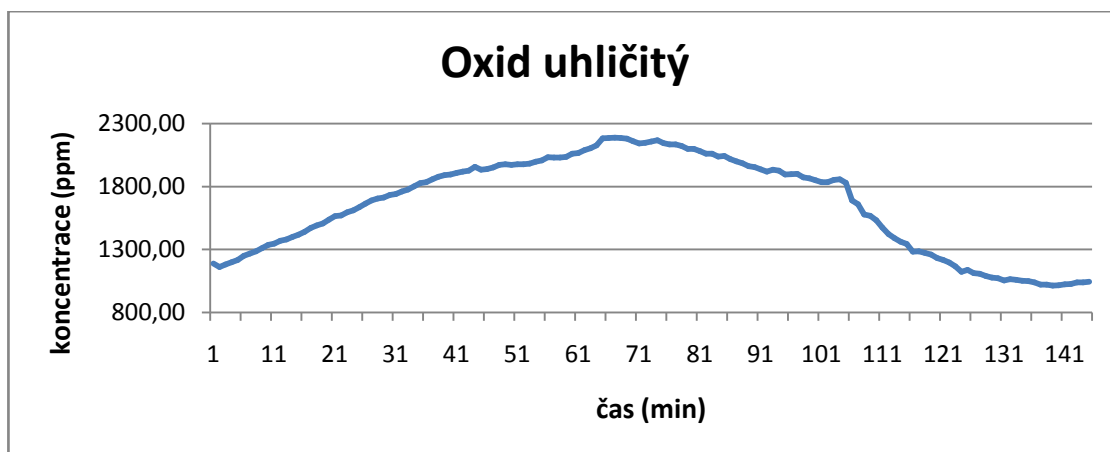
Code Composer Studio nabízí možnost vypisování výstupních dat do terminálu. Po otevření spouštěcího okna byly nastaveny požadované parametry. Druh terminálu byl zvolen jako sériový, dále byl vybrán volný port pro komunikaci (zde COM1), přenosová rychlost 115200 bit/s a také počet bitů (8 bit). V režimu debuggeru se poté v okně terminálu vypisovaly měřené hodnoty v reálném čase.

Pro další zpracování měřených hodnot je však tento způsob sběru dat nevyhovující. Z toho důvodu byla použita aplikace Hercules od firmy HW-group, která zajišťuje sériový přenos dat stejným způsobem jako terminál programu CCS, avšak navíc s možností uložení hodnot do textového souboru.

9.1.1 Měření parametrů prostředí

Pro demonstraci změn jednotlivých parametrů prostředí v závislosti na podmínkách dané místnosti bylo provedeno několik krátkodobých i dlouhodobějších měření.

První demonstrační měření bylo provedeno v jedné z učeben VŠB – TU v průběhu vyučování. Z níže uvedeného grafu (Obr. 25) je patrný postupný nárůst koncentrace oxidu uhličitýho.

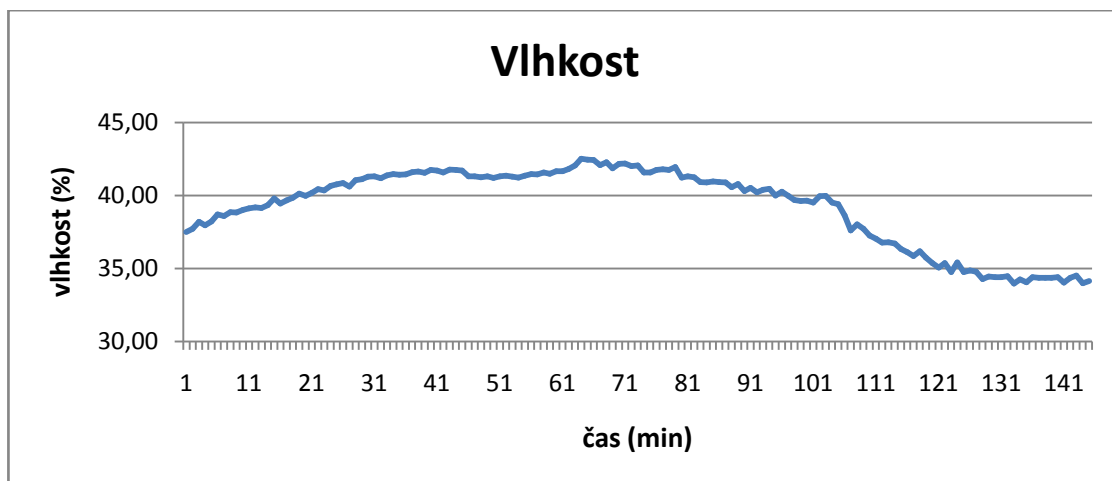


Obr. 25: Průběh koncentrace CO₂ v učebně (vlastní)

Během pobytu 18 osob v uzavřené, nevětrané místnosti dosahuje koncentrace CO₂ v průběhu první hodiny měření až k hodnotám téměř 2200 ppm, což velmi výrazně přesahuje doporučené hygienické limity. Koncentrace oxidu uhličitýho by se měla pohybovat maximálně do 1500 ppm. Nad touto hranicí se již mohou projevovat známky únavy či nesoustředěnosti a nad 2000 ppm již také bolesti hlavy.

Kolem sedmdesáté minuty měření začala být učebna větrána otevřením okna, což koncentraci oxidu uhličitýho, i za nepřetržité přítomnosti všech osob, postupně snižovalo. Po skončení vyučování došlo k prudké změně hodnot v důsledku otevření dveří a opuštění místnosti, což je možné vidět v grafu zhruba po 103 minutách od počátku měření.

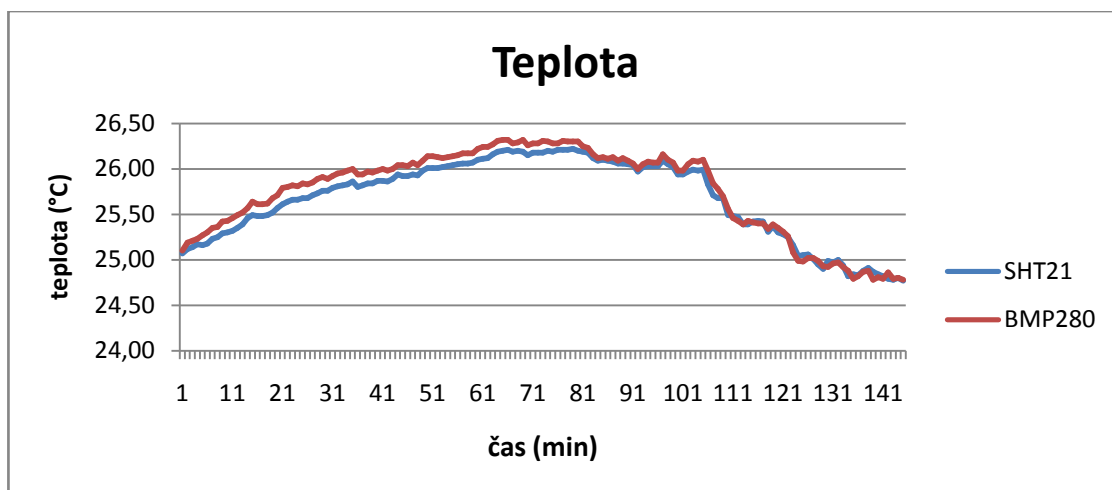
Průběh měření vlhkosti (Obr. 26) ztelně kopíruje tvar křivky koncentrace oxidu uhličitýho. Tato skutečnost je dána především vlivem lidského faktoru. Člověk v průběhu dýchání produkuje oxid uhličitý, který se do okolního prostředí dostává výdechem, obohaceným o vodní páry.



Obr. 26: Průběh relativní vlhkosti vzduchu v učebně (vlastní)

Ve vnitřním prostředí by se relativní vlhkost vzduchu měla pohybovat v rozmezí 30 až 65 %. Z grafu je patrné, že hygienické limity jsou tímto splněny.

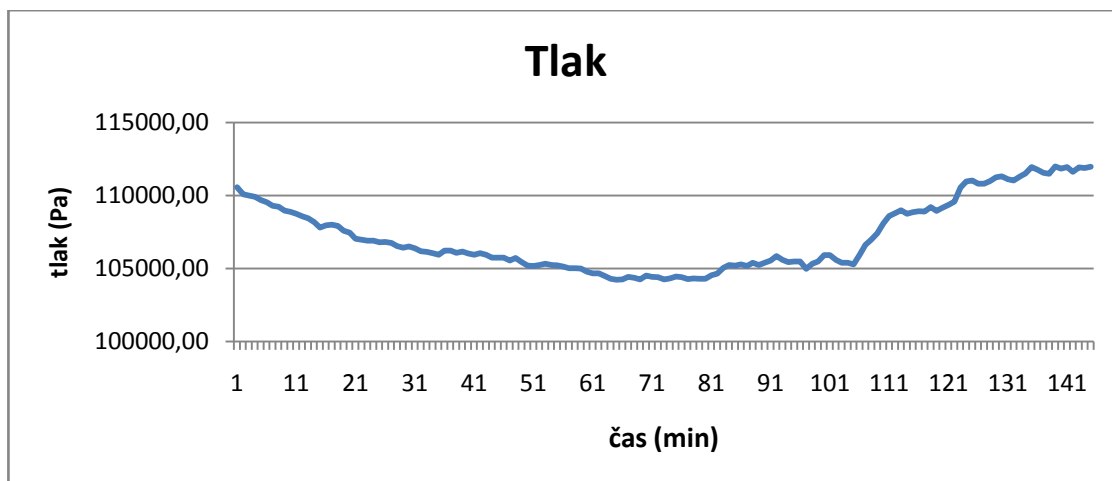
Pro měření teploty v místnosti byly využity tepelná čidla ze dvou odlišných senzorů, SHT21 a BMP280. Z grafu (Obr. 27) níže je patrné, že vzájemná odchylka měření mezi těmito senzory je téměř zanedbatelná.



Obr. 27: Průběh teploty vzduchu v učebně (vlastní)

Z tvaru křivky si lze povšimnout, že průběh teploty v čase také úzce souvisí s předchozími parametry. Důvodem je nejen ohřev okolního vzduchu vlivem dýchání a tepelného záření lidského těla, ale také následné ochlazení prostředí přívodem venkovního vzduchu o značně nižší teplotě (okolo 10 °C).

Dalším měřeným parametrem byl tlak vzduchu (Obr. 28). Ten by se v místnosti neměl nijak radikálně měnit, v grafu si však lze povšimnout relativně velkých změn. Tlak je zde ovlivněn změnami teploty v místnosti, kdy se s rostoucí teplotou snižuje. Po započetí větrání poté opět mírně stoupá zhruba k původním hodnotám.



Obr. 28: Průběh tlaku vzduchu v učebně před kompenzací (vlastní)

Tato chyba je způsobena tepelnou závislostí senzoru BMP280, kterou bylo nutné kompenzovat. K tomuto účelu sloužil následující přepočty, týkající se kompenzace teploty a tlaku. Jedná se o části funkce, použité v programu CCS.

$$var1 = \left(\left(\frac{Temp_BMP280}{16384} \right) - \left(\frac{dig_T1}{1024} \right) \right) \cdot dig_T2 \quad (3)$$

$$var2 = \left(\frac{Temp_BMP280}{131072} - \frac{dig_T1}{8192} \right)^2 \cdot dig_T3 \quad (4)$$

$$t_fine = (int) \cdot (var1 + var2) \quad (5)$$

$$T = \frac{(var1 + var2)}{5120} \quad (6)$$

int t_fine;

double bmp280_compensate_T_double(long signed int Temp_BMP280)

```
{
    double var1, var2, T;
    var1 = (Temp_BMP280/16384.0);
    var1 = var1 -(dig_T1/1024.0);
    var1 = var1 * dig_T2;
    var2 = ((Temp_BMP280)/131072.0 - (dig_T1)/8192.0);
    var2 = var2 * (Temp_BMP280)/131072.0 - (dig_T1)/8192.0;
    var2 = var2 * (dig_T3);
    t_fine = (int)(var1 + var2);
    T = (var1 + var2) / 5120.0;
    return T;
}
```

double bmp280_compensate_P_double(longsignedint Press_BMP280)

```
{
    double var1, var2, p;
    var1 = (t_fine/2.0) - 64000.0;
    var2 = var1 * var1 * (dig_P6) / 32768.0;
    var2 = var2 + var1 * (dig_P5) * 2.0;
    var2 = (var2/4.0)+((dig_P4) * 65536.0);
    var1 = ((dig_P3) * var1 * var1 / 524288.0 + (dig_P2) * var1) / 524288.0;
```

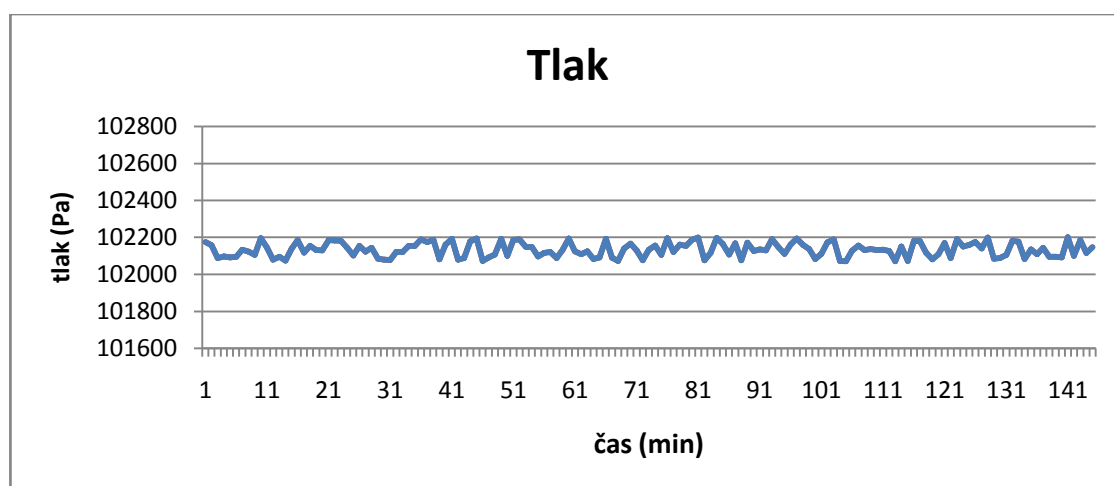
```

var1 = (1.0 + var1 / 32768.0)*(dig_P1);
if (var1 == 0.0)
{
    return 0; // ošetření výjimky způsobené dělením nulou
}
p = 1048576.0 - Press_BMP280;
p = (p - (var2 / 4096.0)) * 6250.0 / var1;
var1 = ((dig_P9) * (p * p)) / 2147483648.0;
var2 = (p * (dig_P8)) / 32768.0;
p = p + (var1 + var2 + (dig_P7)) / 16.0;
return p;
}

```

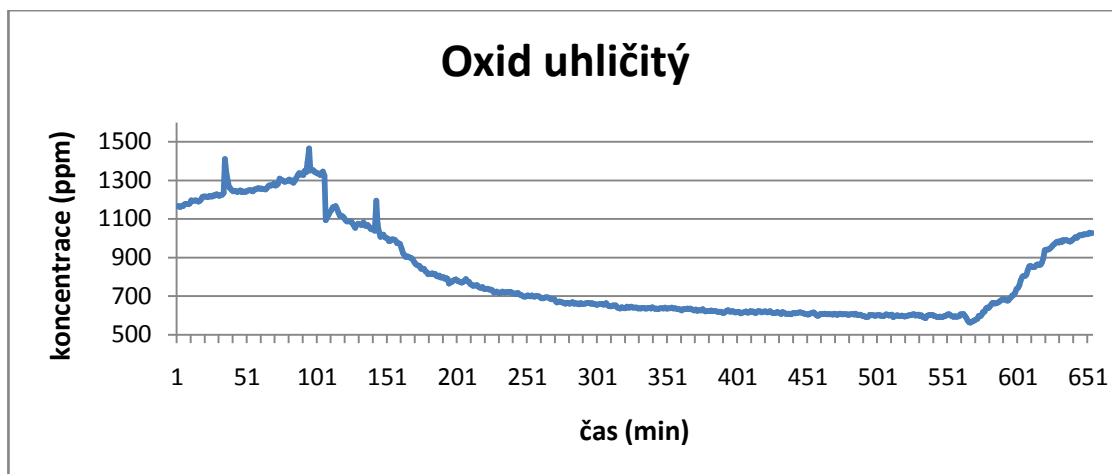
Uvedené kompenzační rovnice jsou uvedeny v dokumentaci senzoru BMP280. Proměnná *Temp_BMP280* představuje hodnotu teploty, která byla naměřena. Označení *dig_Tx* pak slouží pro určení jednotlivých registrů s kompenzačními parametry. Do výsledné proměnné *T* se nakonec ukládají již kompenzované hodnoty.

Průběh již kompenzované hodnoty tlaku je možné vidět v grafu (Obr. 29) níže.



Obr. 29: Průběh tlaku vzduchu v učebně po kompenzaci (vlastní)

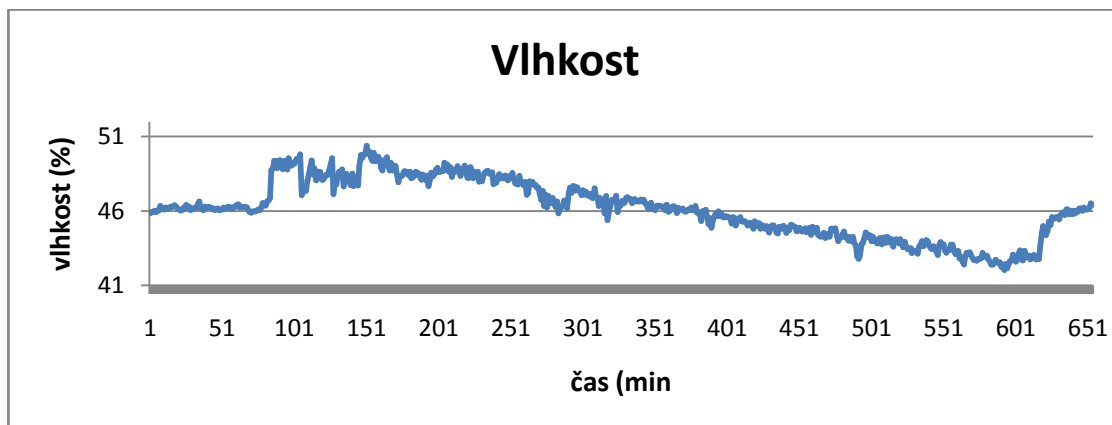
Druhé experimentální měření bylo provedeno v místnosti s jednou osobou, během noci a rána. Jednalo se o větší prostor o výměře zhruba 40 m². Záznam hodnot probíhal téměř 11 hodin.



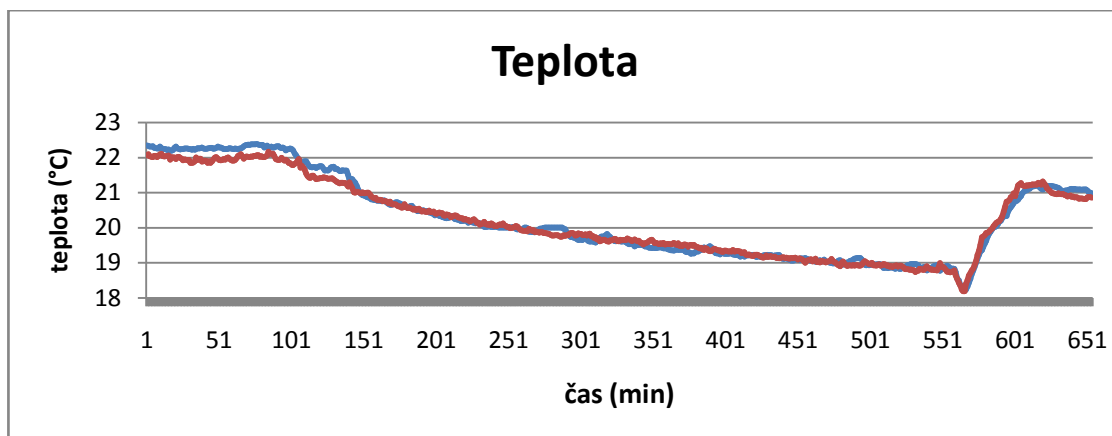
Obr. 30: Průběh koncentrace CO₂ v místnosti (vlastní)

Na začátku měření byla místnost uzavřena a okolo sté minuty pak bylo provedeno nárazové větrání v podobě úplného otevření okna. Následně bylo větrání upraveno na klasickou ventilaci, což na Obr. 30 znázorňuje postupný pokles koncentrace oxidu uhličitého v průběhu necelých osmi hodin (okolo 570. minuty). Poté bylo větrání zastaveno, což se projevilo opětovným nárůstem hladiny CO₂. Výrazné kmity v okolí 30., 90. a 140. minuty byly způsobeny cíleným navýšením koncentrace v podobě výdechu v blízkosti senzoru, za účelem zjištění odezvy měření.

Z hlediska vzájemných vazeb mezi ostatními měřenými parametry se v závislosti na změnách podmínek prostředí podobají další průběhy svým ekvivalentům z předchozího demonstračního měření. Grafy pro průběh vlhkosti a teploty jsou uvedeny níže (Obr. 31, Obr. 32).



Obr. 31: Průběh relativní vlhkosti vzduchu v místnosti (vlastní)



Obr. 32: Průběh teploty vzduchu v místnosti (vlastní)

9.1.2 Vyhodnocení experimentu měření

Pomocí experimentálních měření za různých podmínek byla ověřena ta část řešení, která se zabývala samotnou senzorovou částí. Z uvedených grafů je patrné, že se v závislosti na měřicím prostředí adekvátně měnily také měřené parametry.

Měření teploty bylo možné ověřit použitím dvou odlišných senzorů, které až na zanedbatelné odchylky měřily téměř shodně.

Naměřené hodnoty oxidu uhelnatého a prachových částic byly v průběhu experimentu zanedbatelné. Oxid uhelnatý by se v prostředí budov ideálně neměl vůbec nacházet, což bylo při experimentu potvrzeno. Měření s prachovým senzorem probíhalo v prostředí, kde hustota prachových částic nedosahovala takových hodnot, které by již byly detekovatelné.

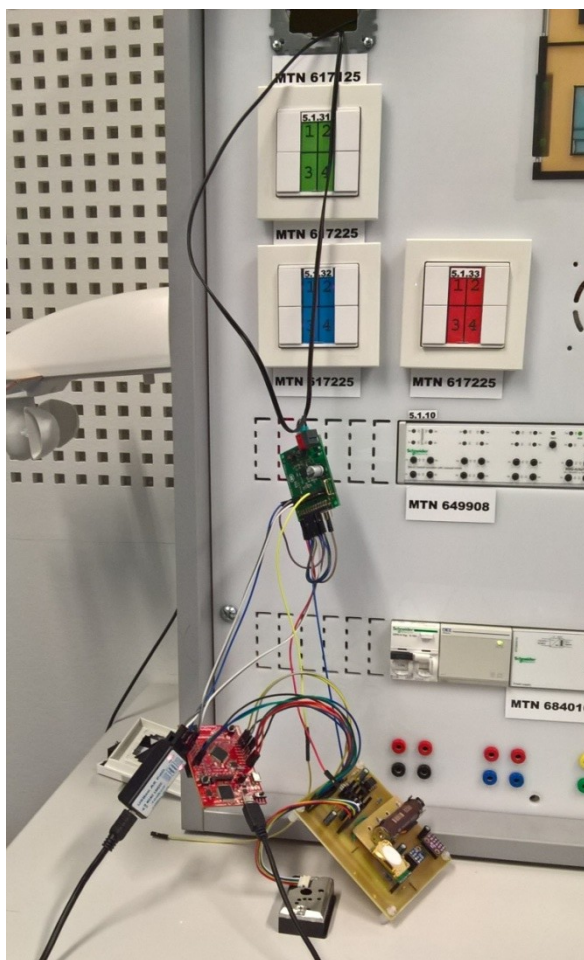
9.1.3 Komunikace s KNX sběrnici

Pro ověření správnosti řešení byl výsledný modul připojen ke KNX sběrnici. Měření bylo uskutečněno v laboratoři KNX EB312 na Fakultě elektrotechniky a informatiky. K experimentu byly použity rozsahy fyzických a skupinových adres v rámci možností laboratoře. Na Obr. 344 níže je zobrazeno zapojení modulu ke KNX sběrnici.

Po provedení připojení všech částí modulu byl zapnut panel KNX prvků a v počítači byl poté spuštěn program ETS5 pro práci s KNX přístroji. Následně byla vytvořena hierarchie individuálních adres pro jednotlivé senzory a každému z nich byl poté přiřazen odpovídající datový typ dle jednotky (Obr. 33). Každý datový typ má v ETS5 svůj specifický kód, který je viditelný na obrázku Obr. 35.

Skupinové adresy	Adresa *	Název	Popis	Centré	Proch	Datový ty
Dynamické záložky	31/1/1	CO2	CO2	Ano	Ano	parts/milli...
31 sensor	31/1/2	T1	T1	Ne	Ne	temperat...
31/1 s+	31/1/3	T2	T2	Ne	Ne	temperat...
31/1/1 CO2	31/1/4	Tlak	Tlak	Ne	Ne	pressure (
31/1/2 T1	31/1/5	Vlhkost	Vlhkost	Ne	Ne	percenta...
31/1/3 T2	31/1/6	CO	CO	Ne	Ne	parts/milli...
31/1/4 Tlak	31/1/7	Prach	Prach	Ne	Ne	density (k...
31/1/5 Vlhkost						
31/1/6 CO						
31/1/7 Prach						

Obr. 33: Individuální adresy senzorů (vlastní)



Obr. 34: Zapojení modulu na sběrnici KNX (vlastní)

Následně bylo tedy spuštěno postupné měření všech parametrů, které byly v odpovídajícím pořadí vypisovány do tabulky v ETS5, viz Obr. 35.

Zdrojová adresa	Cílová adresa	Název cíle zdroje	Typ	DPT	Info
5.1.64	31/1/1	CO2	GroupValueWrite	9.008 parts/million (ppm)	3C 1E 1349,12 ppm
5.1.64	31/1/2	T1	GroupValueWrite	14.068 temperature (°C)	41 B9 33 33 23,15 °C
5.1.64	31/1/3	T2	GroupValueWrite	14.068 temperature (°C)	41 B7 D7 0A 22,98 °C
5.1.64	31/1/4	Tlak	GroupValueWrite	14.058 pressure (Pa)	44 80 10 F5 1024,53 Pa
5.1.64	31/1/5	Vlhkost	GroupValueWrite	5.004 percentage (0..255%)	\$22 34 %
5.1.64	31/1/6	CO	GroupValueWrite	9.008 parts/million (ppm)	01 40 3,2 ppm
5.1.64	31/1/7	Prach	GroupValueWrite	14.017 density (kg/m³)	36 6A E1 8A 3,5E-06 kg/m³
5.1.64	31/1/1	CO2	GroupValueWrite	9.008 parts/million (ppm)	3C 1D 1347,84 ppm
5.1.64	31/1/2	T1	GroupValueWrite	14.068 temperature (°C)	41 B9 47 AE 23,16 °C
5.1.64	31/1/3	T2	GroupValueWrite	14.068 temperature (°C)	41 B7 D7 0A 22,98 °C
5.1.64	31/1/4	Tlak	GroupValueWrite	14.058 pressure (Pa)	44 80 10 A3 1024,52 Pa
5.1.64	31/1/5	Vlhkost	GroupValueWrite	5.004 percentage (0..255%)	\$22 34 %
5.1.64	31/1/6	CO	GroupValueWrite	9.008 parts/million (ppm)	01 40 3,2 ppm
5.1.64	31/1/7	Prach	GroupValueWrite	14.017 density (kg/m³)	36 64 2B 8E 3,4E-06 kg/m³

Obr. 35: Měřené hodnoty z KNX sběrnice (vlastní)

10 Metodický pokyn pro instalaci zařízení

10.1 Umístění

Senzorový modul je určen k montáži na zeď, avšak přesné umístění závisí na více parametrech. Čidla kvality vzduchu se obvykle umísťují do výšky 1 až 2 m nad podlahou, v co největší vzdálenosti od míst s prudkými změnami teplot či vlhkosti.

Díky přítomnosti senzoru pro měření oxidu uhelnatého je doporučeno měřicí modul používat v místnostech, kde uživatel tráví nejvíce času (například ložnice, obývací pokoj). Ačkoli má CO podobnou hustotu jako vzduch, bude jakožto teplejší složka, stoupat. Z toho důvodu je doporučeno senzor umísťovat pod stropem, avšak výše než jsou horní okraje oken a dveří.

Senzory pro teplotu a vlhkost je obvyklé umísťovat do výšky 1,5 m nad podlahou v oblasti pohybu osob. Čidlo se nesmí nacházet v blízkosti oken, dveří, osluněných míst, radiátorů či stěny, kterou prochází komín.

Měření oxidu uhličitého by pak mělo probíhat ve výšce 1,5 až 3 m nad podlahou a ideálně v místě, kde se v okruhu 1 až 2 m dlouhodobě nevyskytují žádné osoby.

S ohledem na jednotlivá použitá čidla je nutné pro určení výšky montáže zvolit kompromis, což je v tomto případě výška zhruba 2 m nad podlahou.

10.2 KNX

Připojení ke sběrnici KNX je realizováno pomocí standardní KNX sběrnice spojky WAGO určené pro vodiče 2x0,8 mm. Při použití vodičů jiných rozměrů nemusí být zaručena správná funkce zařízení. Zařízení i KNX sběrnice je realizována v provedení SELV a proto nesmí být žádná ze svorek připojena k zemi nebo k jinému vodiči.

Individuální adresa zařízení je uložena napevno a lze změnit pouze při přehrání firmwaru v zařízení, proto je nutné při sestavování firmwaru respektovat topologii KNX sítě a umístění zařízení v ní.

Skupinové adresy jsou uloženy v zařízení napevno a lze je změnit pouze při přehrání firmwaru v zařízení. Jednotlivé funkce mají přiřazené adresy dle následujících tabulek a jsou při využití tříúrovňového systému skupinových adres v hlavní skupině 31 a prostřední skupině 1 tj. 31/1/xx.

V následujících tabulkách předefinovaných funkcí pro jednotlivá měření se vždy nachází určitá hodnota parametru, jako například limitní koncentrace pro vyslání alarmu, sledovaná rychlost změny určitého měření a podobně. Dále je vždy přiřazena jednotka spolu s odpovídajícím kódem datového typu a velikostí v rámci KNX. Velmi důležitým prvkem je poté individuální adresa, která jednoznačně určuje každý z parametrů a umožňuje s ním tak prostřednictvím KNX sběrnice pracovat.

Tabulka 10: Funkce pro zpracování hodnot koncentrace oxidu uhličitýho

CO₂ (oxid uhličitý)				
Parametr	Jednotka	KNX kód	Velikost	Adresa
CO ₂ _HODNOTA	ppm	9.008	2-byte float	31/1/1
CO ₂ _TH1	ppm	9.008	2-byte float	31/1/2
CO ₂ _TH2	ppm	9.008	2-byte float	31/1/3
CO ₂ _TH3	ppm	9.008	2-byte float	31/1/4
CO ₂ _AL1	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/5
CO ₂ _AL2	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/6
CO ₂ _AL3	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/7
Poslat cyklus	čas [s]	7.005	2-byte unsigned	31/1/8
Poslat při změně	Δ ppm	9.008	2-byte float	31/1/9
Hystereze TH1H	ppm	9.008	2-byte float	31/1/10
Hystereze TH2H	ppm	9.008	2-byte float	31/1/11
Hystereze TH3H	ppm	9.008	2-byte float	31/1/12
Fan Control TH1	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/13
Fan Control TH2	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/14
Fan Control TH3	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/15
Δ CO ₂ /FC	ppm/s (ppm)	9.008	2-byte float	31/1/16
min FC	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/17

Tabulka 11: Funkce pro zpracování hodnot koncentrace oxidu uhelnatého

CO (oxid uhelnatý)				
Parametr	Jednotka	KNX kód	Velikost	Adresa
CO_HODNOTA	ppm	9.008	2-byte float	31/1/18
CO_TH1	ppm	9.008	2-byte float	31/1/19
CO_TH2	ppm	9.008	2-byte float	31/1/20
CO_TH3	ppm	9.008	2-byte float	31/1/21
CO ₂ _AL1	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/22
CO ₂ _AL2	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/23
CO ₂ _AL3	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/24
Poslat cyklus	čas [s]	7.005	2-byte unsigned	31/1/25
Poslat při změně	Δ ppm	9.008	2-byte float	31/1/26
Hystereze TH1H	ppm	9.008	2-byte float	31/1/27
Hystereze TH2H	ppm	9.008	2-byte float	31/1/28
Hystereze TH3H	ppm	9.008	2-byte float	31/1/29
Fan Control TH1	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/30
Fan Control TH2	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/31
Fan Control TH3	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/32
Δ CO	ppm/s(ppm)	9.008	2-byte float	31/1/33
min FC	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/34

Tabulka 12: Funkce pro zpracování hodnot tlaku vzduchu

TLAK				
Parametr	Jednotka	KNX kód	Velikost	Adresa
Nadmořská výška	m	14.039	4-byte float	31/1/35
P_hodnota	Pa	14.058	4-byte float	31/1/36
P_QNH	Pa	14.058	4-byte float	31/1/37
P_TH+	Pa	14.058	4-byte float	31/1/38
P_TH-	Pa	14.058	4-byte float	31/1/39
P_lim+SET	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/40
P_lim-SET	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/41
P_Δ P/s TH	Pa/s (Pa)	14.058	4-byte float	31/1/42
P_Δ P/s SET	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/43
P_Δ P/s hodnota	Pa/s (Pa)	14.058	4-byte float	31/1/44
P_Δ(ex-int)TH1	Pa	14.058	4-byte float	31/1/45
P_Δ(ex-int)TH2	Pa	14.058	4-byte float	31/1/46
P_Δ P/s max	Pa/s (Pa)	14.058	4-byte float	31/1/47
P_cyklus	čas	7.005	2-byte unsigned	31/1/48

Tabulka 13: Funkce pro zpracování hodnot teploty vzduchu

TEPLOTA				
Parametr	Jednotka	KNX kód	Velikost	Adresa
T_HODNOTA	°C	9.001	2-byte float	31/1/49
T_TH1+	°C	9.001	2-byte float	31/1/50
T_TH1-	°C	9.001	2-byte float	31/1/51
Hystereze TH1H	°C	9.001	2-byte float	31/1/52
Hystereze TH2H	°C	9.001	2-byte float	31/1/53
Fan Control TH1	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/54
Fan Control TH2	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/55
Fan Control TH3	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/56
ΔT	°C/s(°C)	9.001	2-byte float	31/1/57

Tabulka 14: Funkce pro zpracování hodnot relativní vlhkosti vzduchu

VLHKOST				
Parametr	Jednotka	KNX kód	Velikost	Adresa
RH_HODNOTA	%	9.007	2-byte float	31/1/58
RH_TH1_L+	%	9.007	2-byte float	31/1/59
RH_TH1_L-	%	9.007	2-byte float	31/1/60
RH_TH1_Z+	%	9.007	2-byte float	31/1/61
RH_TH1_Z-	%	9.007	2-byte float	31/1/62
RH_AL1	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/63
RH_AL2	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/64
RH_AL3	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/65
RH_AL4	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/66

Tabulka 15: Funkce pro zpracování hodnot hustoty prachových částic

PRACH				
Parametr	Jednotka	KNX kód	Velikost	Adresa
D_HODNOTA	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	14.017	4-byte float	31/1/67
D_TH1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	14.017	4-byte float	31/1/68
D_TH2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	14.017	4-byte float	31/1/69
D_TH3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	14.017	4-byte float	31/1/70
Fan Control TH1	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/71
Fan Control TH2	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/72
Fan Control TH3	%	5.001	8-bit unsigned	31/1/73
$\Delta\text{D_TH1}$	$(\mu\text{g}/\text{m}^3)/\text{s}$	14.017	4-byte float	31/1/74
$\Delta\text{D_AL1}$	on/off	1.005 alarm	1-bit	31/1/75

10.3 Automatická kalibrace CO₂ senzoru

Automatická kalibrace probíhá v intervalu asi 7 dnů. Pro správný průběh této funkce je nutné, aby bylo čidlo alespoň jednou týdně po dobu minimálně 10 minut vystaveno čerstvému vzduchu (o obsahu asi 300 až 400 ppm CO₂). Čidlo si pamatuje minimální hodnotu naměřenou během posledních 7 dní a po 7 dnech přiřadí této hodnotě koncentraci CO₂ o výši 350 ppm. Tím se změní i hodnota výstupního signálu. Maximální korekce je omezena na 100 ppm za sedmidenní interval.

11 Zhodnocení celkového řešení

Realizovaný modul senzorů prostředí byl navržen jako univerzální jednotka pro měření nejčastěji sledovaných parametrů ve vnitřních prostorech budov. Zřejmě nejběžnější je měření teploty vzduchu, které umožňuje v místnosti regulovat vytápění či klimatizaci a zajistit tak tepelnou pohodu uživatele. Dnešní moderní termostaty již také nabízí pokročilé technologie ovládání teploty, jako je například vzdálené spuštění vytápění pomocí telefonu či počítače a umožňují tedy úspornější i komfortnější použití. Tyto systémy jsou však stále značně závislé na samotném uživateli. Spojení s KNX nabízí, zjednodušeně řečeno, větší samostatnost zařízení a tím také ještě vyšší komfort. Díky propojení s dalšími prvky na společné sběrnici je tedy možné teplotu nastavovat nejen v závislosti na klasických podmínkách, jakými jsou cílové přednastavení teploty nebo časová závislost (den/noc, pracovní den/víkend), ale také s ohledem na vnější okolnosti. Pokud je například do domovní instalace začleněn senzor pro sledování stavu oken či dveří, může být zaznamenáno jejich neúmyslné otevření. V případě zimního období tedy dojde k prudkému poklesu teploty v místnosti, což by způsobilo reakci v podobě intenzivnějšího vytápění a zároveň by tedy docházelo ke značným energetickým ztrátám. Díky senzorům však systém tento stav dokáže detekovat a pomocí alarmu uživatele na tuto změnu upozornit. Tento příklad je jedním z mnoha, které demonstrují značnou výhodu součinnosti jednotlivých prvků systému KNX.

Měření relativní vlhkosti vnitřního prostředí je dalším z často sledovaných parametrů. Mimo doporučené hodnoty může totiž vlhkost působit negativně nejen na samotnou stavbu, ale především na lidské zdraví. Snížená vlhkost vzduchu sice působí jako čerstvější v porovnání s vlhkostí vyšší, avšak již při poklesu na 15% RH (relativní vlhkosti) dochází k vysoušení sliznic dýchacích cest a suchosti očí, což je velmi nepříjemné zvláště pro osoby používající kontaktní čočky. Vlivem nízké vlhkosti také dochází k výraznější únavě a zhoršené schopnosti soustředění. Zároveň vytváří suchý vzduch také lepší podmínky pro mikroorganismy, které tak mohou způsobovat například nachlazení. Příliš vysoká vlhkost vzduchu naopak negativně ovlivňuje prostředí stavby a může způsobit zdraví nebezpečné plísně. Vlhkost vzduchu je také velmi úzce spjatá s teplotou, kdy se člověku jeví prostředí při nižší vlhkosti chladnější. Díky informaci o relativní vlhkosti mohou být její hodnoty řízeny tak, aby splňovaly požadavky přiměřeného rozmezí, a to v závislosti na ročním období či zdravotním stavu osob. Častou příčinou snížené vlhkosti bývá vytápění a klimatizace. Novější klimatizační jednotky však již disponují také zvlhčovači, které mohou tento vedlejší efekt eliminovat. V rámci KNX systému je tedy možné tento systém řídit právě v závislosti na aktuálně měřených hodnotách.

Již zmíněné klimatizační jednotky jsou zpravidla vybaveny také čisticími vzduchovými filtry, které obytné prostředí zbavují nečistot ve formě prachových částic. Z toho důvodu je také vhodné prašnost v prostředí sledovat. Za běžných okolností není v pobytové prostředí hodnota prašnosti nijak vysoká. Záleží vždy ovšem na činnosti, která je zde provozována. V garážích, dílnách či jiných podobných prostorech se hustota prachových částic přirozeně pohybuje ve vyšších hodnotách, než například v obývacím pokoji. I zde však mohou být v některých případech hodnoty vyšší, a to v důsledku cigaretového kouře, jehož částice jsou již mnoha snímači (i zde použitým) detekovatelné. V závislosti na zjištěných hustotách prachu tedy může být řízena filtrace vzduchu, což může být důležité především u osob trpících nemocemi dýchacích cest.

S filtrací vzduchu úzce souvisí další měřený parametr, kterým je tlak. V nemocničních zařízeních se v tzv. čistých prostorech běžně používá vzduchotechnika s přetlakovou filtrací. Do místnosti je přes HEPA (High Efficiency Particulate Air) či ULPA (Ultra Low Penetration Air Filters), filtry vháněn čistý vzduch a vytváří tak přetlak zhruba 10 až 15 Pa vůči okolí. Skrze filtry tedy vede jediná cesta pro přívod čistého vzduchu a veškeré nečistoty jsou přetlakem vyháněny ven. Řadí

se sem především prachové a pylové částice, mikroorganismy a jiné. Tento systém je dnes již poměrně rozšířený a používá se například také v automobilovém průmyslu. Filtrace vzduchu je velice důležitá především pro osoby s onemocněním dýchacích cest či cévním onemocněním, alergie, astmatiky a jinak citlivé osoby. Díky sledování hodnot tlaku v takovýchto místnostech je možné určit, zda systém funguje správně nebo detekovat neočekávaný stav, kterým může být například otevření dveří, což by způsobilo nežádoucí vyrovnání tlaků a možnou kontaminaci čistého prostoru.

Ve vnitřním prostředí budov je podstatné sledovat také koncentraci oxidu uhličitého. Člověk sám je schopen vyprodukovat během hodiny 13 až 77 litrů CO_2 , což závisí na jeho aktuální fyzické zátěži. Při pobytu většího počtu osob v nedostatečně místnosti tak dochází ke značnému nárůstu koncentrace oxidu uhličitého. To poté vede k únavě, nesoustředěnosti, bolestem hlavy nebo při extrémních koncentracích až ke ztrátě vědomí. Z toho důvodu je velmi podstatné tento parametr sledovat a zajistit tak včasné zamezení dosažení limitních hodnot. V případě zvýšené koncentrace může být vyslán alarm, který například zajistí spuštění větrání pro přísun čerstvého vzduchu do místnosti.

Podobné řešení může být použito také při sledování koncentrace oxidu uhelnatého. Zde se však již nejedná o látku běžně se vyskytující ve vzduchu a limitní hodnoty jsou zde mnohonásobně nižší. V kontaktu s oxidem uhelnatým dochází k jeho navázání na hemoglobin za vzniku karboxyhemoglobinu (COHb). Do hodnoty 2,9% COHb v krvi se ještě neprojeví fyziologické změny, ovšem nad touto hranicí již mohou vznikat kardiovaskulární obtíže, nevolnost, bezvědomí až smrt (okolo 70% COHb). Jelikož je oxid uhelnatý bezbarvý a bez zápachu, je velmi důležité sledovat jeho zvýšenou koncentraci, ke které může dojít například při poruše plynového spotřebiče. V tomto případě je nutné, aby zařízení ihned vyslalo vizuální i zvukový alarm a případně zajistilo také spuštění odvětrávání.

Z výše uvedených parametrů prostředí je patrné, že jsou spolu mnohdy úzce provázány. Tato skutečnost byla také jedním z důvodů výběru použitých senzorů. Ačkoli je použití systému KNX velmi často spojováno s energetickými úsporami, jeho výraznou výhodou je však také vliv na kvalitu lidského zdraví. Možností, jak ještě více provázat řízení budov se zdravotním hlediskem je systém Home Care, který je schopen pracovat navíc i s konkrétními daty o uživateli a začlenit je do systému řízení. Dle zdravotního stavu uživatele tak může být upravena teplota, vlhkost či intenzita větrání. Například u seniorů je možné pracovat s daty z EKG či měření krevního tlaku. Dále existují také senzory pro detekci pádu, díky kterým je následně možné vyslat upozornění například rodinnému příslušníkovi či ošetřovateli.

Řada výrobků firem, které se specializují právě na KNX, již senzory pro měření prostředí nabízejí. Často se však jedná o kombinaci například dvou senzorů v rámci jednoho zařízení. Realizované zařízení tedy nabízí možnost měřit podstatně více parametrů zároveň. Výhodou je pak tedy znatelně vyšší variabilita použití, kdy je možné měřicí modul využít například pro již výše zmíněný Home Care systém, nebo také i pro zabezpečovací systémy, které jsou pro KNX rovněž dostupné. Realizované zařízení navíc nabízí i dodatečné připojení dalších senzorů, a to buď přes zbývající analogové vstupy nebo skrze I^2C rozhraní mikrokontroléru. Ten je schopen dodat napájecí napětí o hodnotách 3,3 V a 5 V, což jsou hodnoty, vyhovující většině běžných senzorů. Je tedy možné dále připojit například bezkontaktní teploměr, akustický senzor, čidla pro detekci různých chemických látek a mnohá další. Škálovatelnost zařízení je však možné využít i v opačném případě. Jedná se o případy, kdy by měl být modul umístěn například v prostorách, kde se osoby dlouhodobě nezdržují (chodby) a není zde tedy nutné tak detailní sledování stavu prostředí. Některé z již zapojených senzorů by tedy nebyly využívány. Z toho důvodu je modul sestaven tak, aby bylo možné kterýkoli ze senzorů vynechat a přizpůsobit se tak individuálním požadavkům uživatele.

Mezi další odlišnosti od komerčních zařízení patří bezpochyby variabilita v nastavení limitních hodnot čidel. Senzory běžných zařízení bývají nastaveny na určité hraniční hodnoty daného měřeného parametru, které zůstávají prakticky konstantní. Může se jednat například o hodnotu 1500 ppm pro koncentraci oxidu uhličitého, kdy je při překročení tohoto limitu vyslán alarm. Realizované zařízení je však schopno tyto hraniční hodnoty dynamicky měnit, vyhodnocovat data již v průběhu měření a na základě těchto statistik se pak přizpůsobit danému prostředí.

Závěr

Cílem této diplomové práce byl návrh a realizace modulu senzorů pro měření parametrů vnitřního prostředí budov, který je schopen komunikovat s KNX sběrnici. Těmito parametry byly oxid uhličitý, oxid uhelnatý, tlak, relativní vlhkost, teplota a koncentrace prachu v místnosti. Modul vybavený takovýmto počtem měřicích senzorů nebývá zcela běžný, avšak umožňuje tím uživateli získat detailní informace o daném prostředí bez nutnosti použití většího počtu různých zařízení.

Jednotlivé senzory byly vybírány vždy s ohledem na hodnotu rozlišení vzhledem k danému parametru a míře přesnosti, kterou vyžadoval. Pro vhodné rozmístění senzorů v měřicím modulu byla v programu Eagle navržena deska, která byla následně také realizována a osazena konektory pro možnost připojení jednotlivých senzorů. Tato deska pak byla ve fázi testování připojena pouze k mikrokontroléru firmy Texas Instruments a k počítači. Zde se dále pracovalo s programovacím prostředím Code Composer Studio, prostřednictvím kterého byly postupně oživeny jednotlivé senzory.

Následně bylo provedeno několik dlouhodobějších měření, které měly za úkol potvrdit správnou funkci všech dílčích částí. Měření probíhala v několika odlišných prostředích a také za různých podmínek pro docílení různorodých výsledků. Prostřednictvím Code Composer Studia bylo možné v určitém nastaveném časovém intervalu vždy vyčíst všechna požadovaná data a zobrazit je v terminálu. Toto řešení zpočátku sloužilo jako ověření správnosti, avšak pro další práci s daty nebylo příliš vhodné. Následně bylo tedy využito programu Hercules, jenž byl schopen měřené hodnoty prostřednictvím sériového přenosu ukládat do textového dokumentu. Data byla poté zpracována do grafické podoby, která ukázala jistou míru nepřesnosti při měření tlaku vzduchu. Tato chyba byla vyhodnocena jako závislost na teplotě, což následně potvrdilo také provedení teplotní kompenzace.

Měřicí jednotka má být dále schopna nahradit stávající komerční přístroje výrobců, kteří tato standardizovaná zařízení poskytují. Aby bylo možné vytvořit ekvivalentní zařízení, bylo nutné jej propojit se sběrnici KNX a umožnit tak komunikaci se senzorovým modulem. Důležitým prvkem je zde čip NCN5120 zajišťující KNX rozhraní. Tento čip byl již implementován na desku, se kterou je mikrokontrolér schopen komunikovat po sériové lince přes rozhraní UART. Jednotlivé individuální a skupinové adresy jsou zde nastavovány přímo z kódu. V prostředí programu ETS5, jenž slouží k práci s KNX sběrnici, je možné nastavit také adresy komerčních přístrojů, což následně umožňuje vzájemnou komunikaci.

Ačkoli je na trhu v dnešní době k dispozici celá řada KNX kompatibilních zařízení, často bývá jejich pořizovací cena značně vysoká. Zároveň většina snímacích členů obsahuje čidla pouze pro nižší počet sledovaných parametrů. K docílení možnosti měření širšího spektra těchto parametrů je pak nutný vyšší počet samostatných modulů. Výhodou realizovaného modulu však může být naopak i možnost využívání pouze několika z vybraných senzorů. Jednotka je tedy sestavena tak, aby bylo možné zcela se přizpůsobit požadavkům uživatele.

Výsledky práce již byly prezentovány v rámci 14. Mezinárodní studentské konference Obnovitelné zdroje energie v teorii a praxi, CZ/PL. Články na téma diplomové práce jsou již přijaté k publikaci na 4. International Scientific Conference New Trends in Management and Production Engineering – regional, cross-border and global perspective. PL a 41. XL-th IEEE-SPIE Joint Symposium on Photonics, Web Engineering, Electronics for Astronomy and High Energy Physics Experiments, Wilga 2017, PL.

Použitá literatura

- [1] Vliv změny klimatu na zdraví lidí, zvířat a rostlin. In: PUBLIC HEALTH [online]. Brusel: KOMISE EVROPSKÝCH SPOLEČENSTVÍ, 2009 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/health/ph_threats/climate/docs/com_2009-147_cs.pdf
- [2] Mikroklimatické podmínky vnitřního prostředí pracovišť. In: STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV [online]. Praha: Kolektiv pracovníků SZÚ, 2007 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/mikroklimaticke-podminky-vnitriho-prostredi-pracovist>
- [3] Technika a způsoby měření parametrů vnitřního prostředí. In: TZB-info [online]. Praha: Topinfo, 2012 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/9217-technika-a-zpusoby-mereni-parametru-vnitriho-prostredi>
- [4] TZB - VZDUCHOTECHNIKA. In: Mário Lenčoš [online]. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2005 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BT02-TZB%20III/M03-Zaklady%20mikroklimatu%20budov.pdf>
- [5] Měření koncentrací škodlivých plynů uvnitř staveb. AZ-Radon s.r.o. [online]. České Budějovice: AZ - Radon, 2016 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://www.az-radon.cz/mereni-koncentraci-skodlivych-plynu-uvnitř-staveb/>
- [6] Du1_pomocne-tabulky. In: Katedra technických zařízení budov K11125 [online]. Praha: Katedra technických zařízení budov K11125, 2015 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/62/du1_pomocne-tabulky.pdf
- [7] Oxid uhličitý - utajený nepřítel. TZB-info [online]. Praha: TZB-info, 2011 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/7132-oxid-uhlicity-utajeny-nepritel>
- [8] Oxid uhelnatý » Celý článek. STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV [online]. Praha: Kolektiv pracovníků SZÚ, 2016 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/cely-clanek-1>
- [9] Návrh aplikace pro měření znečištění ovzduší – projekt Kanárci [online]. Praha, 2014 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/7/7d/Dp_2014_frecek_tomas.pdf
- [10] Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb. TZB-info [online]. Praha: Topinfos.r.o, 2013 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitri-prostredi-staveb>
- [11] NAŘÍZENÍ VLÁDY ze dne 29. února 2012, kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb. In: . 2012, ročník 2012, číslo 93.
- [12] VYHLÁŠKA ze dne 16. prosince 2002, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. In: . 2003, ročník 2003, číslo 6.
- [13] Počasí a meteosenzitivita u člověka. Lidské tělo reaguje i na počasí..biologické hodiny a melatonin. In: ČESKÝ WEB [online]. 2011 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://ceskyweb.blogspot.cz/2011/01/pocasi-meteosenzitivita-u-cloveka.html>

- [14] VYHLÁŠKA ze dne 25. září 2009, kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. In: . 2009, ročník 2009, číslo 343.
- [15] Nová evropská norma pro detekci oxidu uhelnatého v obytných budovách, karavanech a na lodích. TZB-info [online]. Praha: Topinfo, 2017 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/11591-nova-evropska-norma-pro-detekci-oxidu-uhelnateho-v-obytnych-budovach-karavanech-a-na-lodich>
- [16] Prašnost na pracovišti. Státní zdravotní ústav [online]. Praha: Státní zdravotní ústav, 2007 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1>
- [17] VYHLÁŠKA ze dne 12. srpna 2009 o technických požadavcích na stavby. In: . 2009, ročník 2009, číslo 268.
- [18] VYHLÁŠKA ze dne 22. prosince 2016, kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých, ve znění vyhlášky č. 343/2009 Sb. In: . 2016, ročník 2016, číslo 465.
- [19] NOGOVÁ, Tereza. HODNOCENÍ METOD PRO STANOVENÍ VLHKOSTI VE STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍCH. Brno, 2015. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=97904, DIPLOMOVÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. ANTONÍN ŽÁK, Ph.D.
- [20] CHLAD, Miroslav. Bezdrátový senzor teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Brno, 2014. Bakalářská práce. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=88320, VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. Ladislav Macháň.
- [21] MĚŘENÍ A REGULACE TLAKU, KALIBRACE TLAKOMĚŘŮ. Ústav počítačové a řídicí techniky [online]. Praha: Ústav počítačové a řídicí techniky VŠCHT Praha, 2013 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/LO/download/B6-priprava.pdf>
- [22] Nondispersive Infrared Detector (NDIR) principle | Cambustion. In: Cambustion | Fast Response Emissions Analyzers & Automotive Engineering Services [online]. 2015 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.cambustion.com/products/ndir500/operating-principle>
- [23] VACULÍKOVÁ, Eva. Sledování emisí v pražské spalovně odpadů. AUTOMA [online]. 2008, (11), 3 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/38110.pdf
- [24] Operating principle-Electrochemical-type gas sensor. GasSensors / FIGARO Engineering inc. World leader in gassensing innovation [online]. Japan [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.figaro.co.jp/en/technicalinfo/principle/electrochemical-type.html>
- [25] Elektrochemické články. Ústav mikroelektroniky, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_9_2_2.htm
- [26] FRČEK, Tomáš. Návrh aplikace pro měření znečištění ovzduší – projekt Kanárce [online]. Praha, 2014 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/7/7d/Dp_2014_frcek_tomas.pdf. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Daniel Novák, Ph.D.

- [27] Inteligentní elektroinstalace ABB i-bus® KNX. ABB [online]. Praha: 2017 ABB, 2017 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/product/cz/9AAC111724.aspx>
- [28] KNX/EIB – Celosvětově normalizovaný systém inteligentní instalace (2). VF SERVIS [online]. Teplice: 2011 - VFSERVIS, 2011 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://www.vfservis.cz/files/001947_eti_29.pdf
- [29] KNX/EIB – Celosvětově normalizovaný systém inteligentní instalace (3). VF SERVIS [online]. Teplice: 2011 - VFSERVIS, 2011 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://vfservis.cz/files/001950_eti_31.pdf
- [30] FIGARO GROUP. Application Notes for CO using TGS5042. ArlingtonHeights, USA, 2013.
- [31] FIGARO GROUP. TGS 2442 - forthedetectionofCarbonMonoxide: Productinformation. ArlingtonHeights, USA, 2007..
- [32] ON SEMICONDUCTOR. NCN5120: Transceiver for KNX Twisted Pair Networks. Colorado, USA, 2015.
- [33] FIGARO. TGS 4161 - forthedetectionofCarbon Dioxide: ProductInformation. ArlingtonHeights, USA, 2005.
- [34] SENSIRION. Humidity and Temperature Sensor: Datasheet SHT21. Staefa ZH, Switzerland, 2010.
- [35] BOSCH. BMP280: Digital Pressure Sensor. Reutlingen, Germany, 2015.
- [36] SEMICONDUCTOR. NCN511010GEVB, NCN512010GEVB, NCN512110GEVB, NCN513010GEVB: NC51XX10GEVB EvaluationBoardUser`sManual. Colorado, USA, 2015.
- [37] SHARP. GP2Y1010AU0F: CompactOpticalDust Sensor. 2006.
- [38] TEXAS INSTRUMENTS. Stellaris LM4F120 LaunchPadEvaluationBoard: USER Manual. USA, 2013.
- [39] TEXAS INSTRUMENTS. TivaWare_Peripheral Driver Library: USER`S GUIDE. USA, 2006.
- [40] AMPENOL. Telaire: T67xx CO2 Sonsor Module ApplicationNote. Wallingford, England, 2014.
- [41] FIGARO. TechnicalInformationFor TGS4161: TechnicalInformatioforCarbon Dioxide Sensors. ArlingtonHeights, USA, 2004.
- [42] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. Stellaris® LM4F120H5QR Microcontroller: Datasheet. USA, 2013.
- [43] AMPHENOL. Telaire T6713: Series CO2 Module. 2015. Wallingford, England, 2015.
- [44] VYHLÁŠKA ze dne 22. prosince 2016, kterou se mění vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých, ve znění vyhlášky č. 343/2009 Sb. In: . 2016, ročník 2016, číslo 465.
- [45] MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HÜBNER. Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2367-9.
- [46] UM10204 I2C-bus specification and user manual. NXP [online]. Eindhoven: NXP Semiconductors N.V., 2014 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf
- [47] Sdílení souborů na Internetu a sítě P2P - základní technologický přehled. Epam [online]. Praha: EPAM SYSTEMS (CZECH REPUBLIC), 2009 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z:

<http://pcworld.cz/internet/sdileni-souboru-na-internetu-a-site-p2p-zakladni-technologicky-prehled-8350>

[48] Komplexní řízení budov – aplikace KNX. NETFEI [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2016 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://netfei.vsb.cz/downloads/autorske_texty/Komplexni%20rizeni%20budov%20-%20Aplikace%20KNX.pdf

[49] Architektury komunikujících systémů. KATEDRA INFORMATIKY [online]. Ostrava: KATEDRA INFORMATIKY | FEI, VŠB-TU Ostrava, 2017 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://www.cs.vsb.cz/grygarek/PS/lect/OSI_RM.html

[50] Model ISO/OSI , TCP/IP. Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity [online]. Brno: Pedagogická fakulta MU, 2017 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://www.ped.muni.cz/wtech/03_studium/teps/teps-02.pdf

[51] CodeComposer Studio (CCS) Integrated Development Environment (IDE). Texas Instruments [online]. Texas Instruments Incorporated, 2016 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.ti.com/tool/ccstudio>

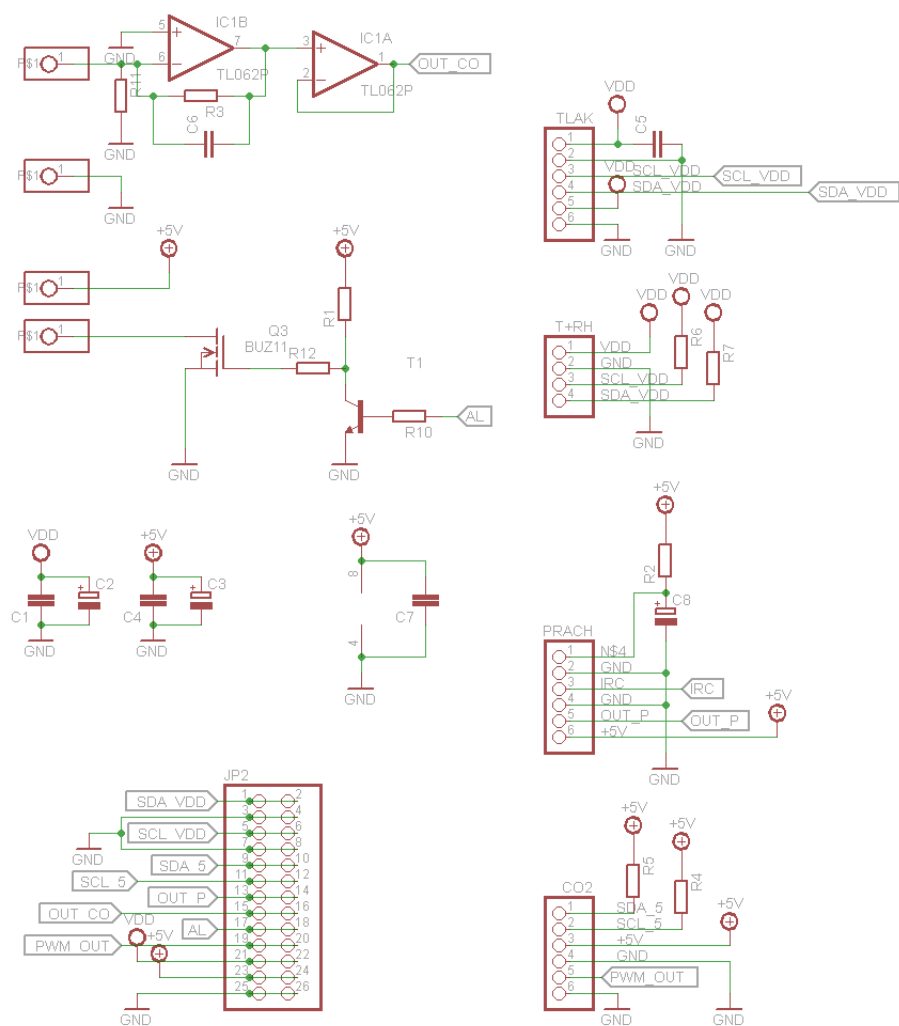
[52] TivaWare™ for C Series (Complete). Texas Instruments [online]. Texas Instruments Incorporated, 2016 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.ti.com/tool/sw-tm4c?keyMatch=tivaware&tisearch=Search-EN-Everything>

[53] CodeComposer Studio. Purdue University [online]. WestLafayette: Purdue University, 2017 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <https://engineering.purdue.edu/ece477/Archive/2014/Spring/S14-Grp1/docs/software/LM4F-LaunchPad-02%20-%20CCS%20Setup%20Part%202.pdf>

Seznam příloh

Příloha 1: Schéma desky senzorů	1
Příloha 2: Návrh desky senzorů.....	2
Příloha 3: Schéma desky k čipu NCN5120	3
Příloha 4: Osazená deska před zapojením senzorů.....	4
Příloha 5: Osazená deska se zapojenými senzory	5
Příloha 6: Program pro měření (Code Composer Studio)	CD

Příloha 1: Schéma desky senzorů

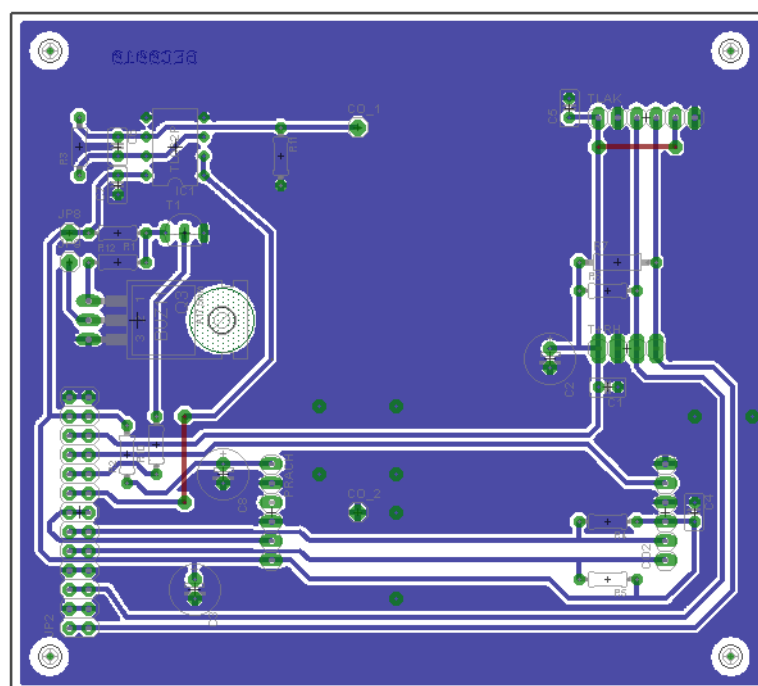


VŠB-TUO, 17.listopadu 15/2172

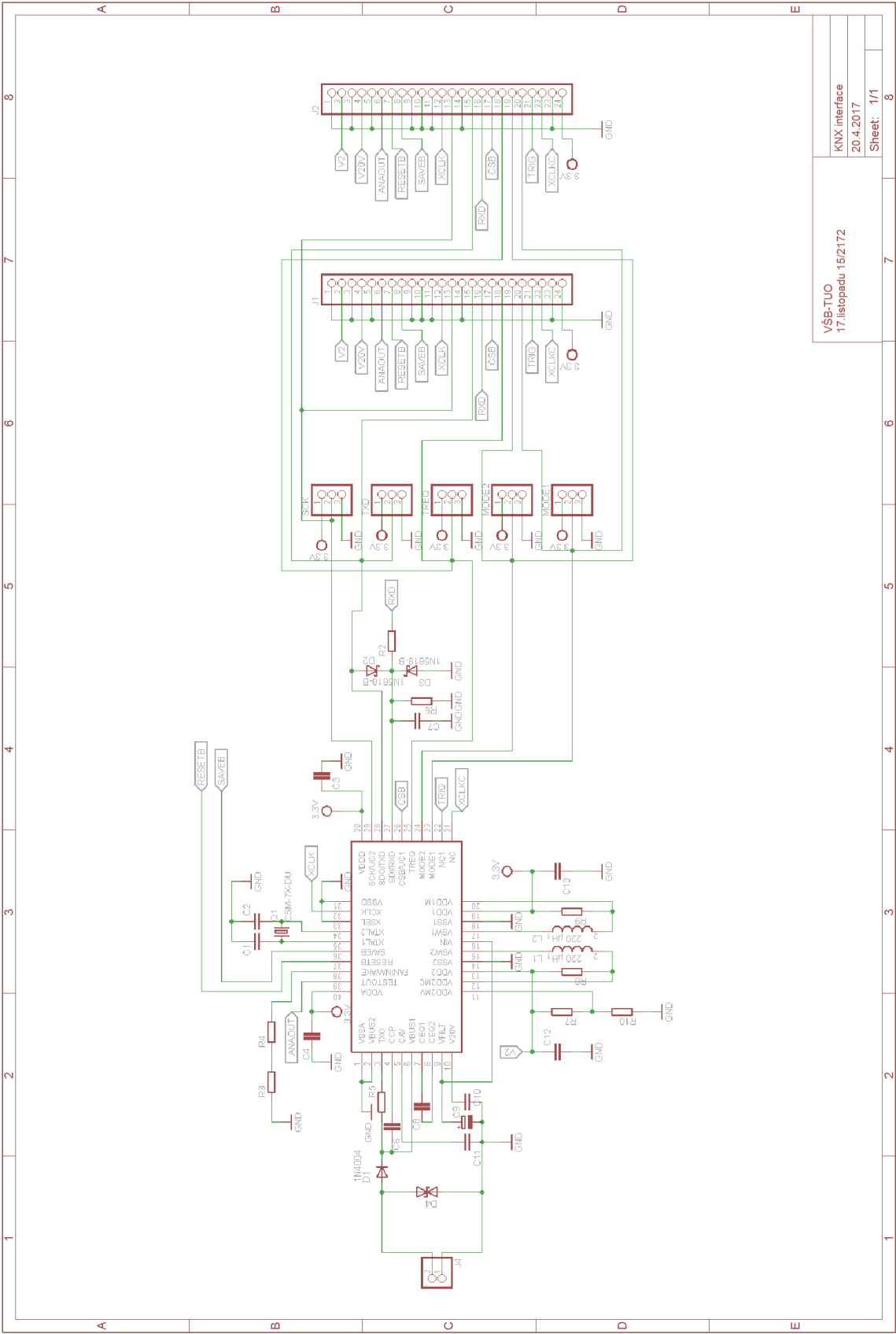
Deska senzorů

Sheet: 1/1

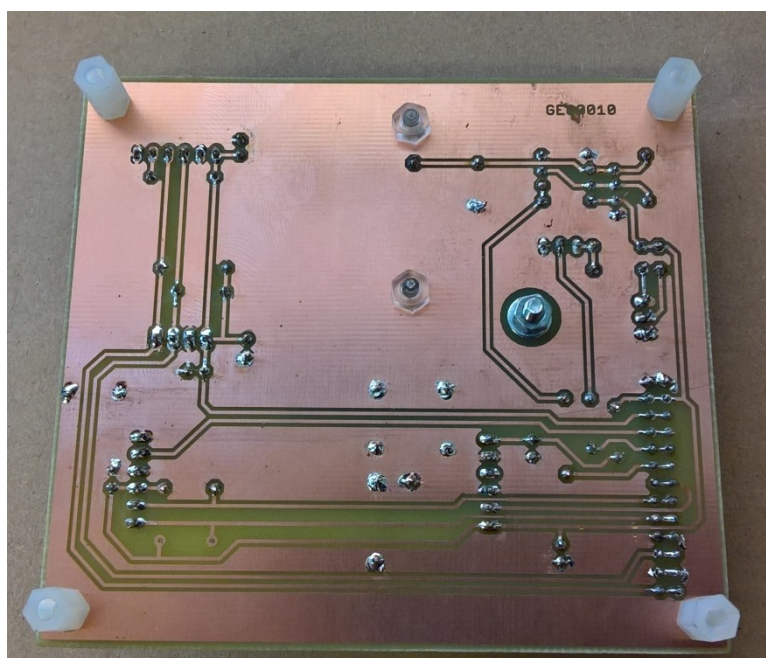
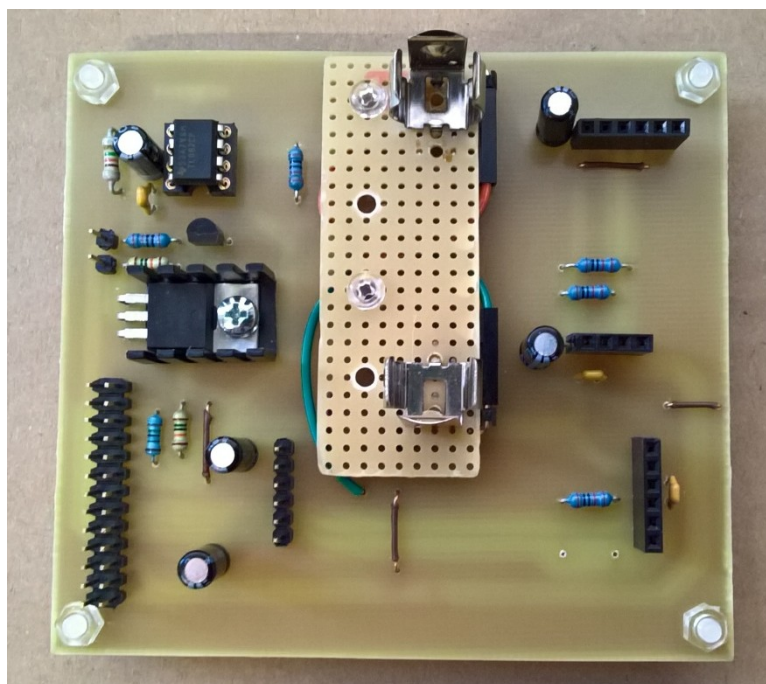
Příloha 2: Návrh desky senzorů



Příloha 3: Schéma desky k čipu NCN5120



Příloha 4: Osazená deska před zapojením senzorů



Příloha 5: Osazená deska se zapojenými senzory

